

**INVERKAN AV ÄRT-HAVREGRÖNFODER OCH RAPSMJÖL I
VALLBASERADE FODERSTATER PÅ SMÄLTBARHET,
VÅMJÄSNING OCH METANPRODUKTION *IN VITRO***

Sara Willberg
Magisteravhandling
Helsingfors universitet
Institutionen för
lantbruksvetenskaper
Husdjursvetenskap
2018

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Agrikultur-forstvetenskapliga fakulteten		Laitos — Institution — Department Institutionen för lantbruksvetenskaper	
Tekijä — Författare — Author Sara Willberg			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Inverkan av ärt-havregrönfoder och rapsmjöl i vallbaserade foderstater på smältbarhet, våmjäsning och metanproduktion <i>in vitro</i>			
Oppiaine — Läroämne — Subject Husdjurens näringsvetenskap			
Työn laji — Arbetets art — Level Magisteravhandling		Aika — Datum — Month and year April 2018	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 50 s.
<p>Tiivistelmä — Referat — Abstract</p> <p>Att byta ut en del av vallensilaget till ärt-havrehelsädesensilage skulle kunna höja det näringsmässiga värdet för mjölkkors foderstater och vara ett alternativ till att köpa in proteinfoder. Den kemiska sammansättningen och smältbarheten för ärt-spannmålshelsädesensilage har varierat en hel del i olika studier, och särskilt påverkats av fodrets ärthalt. Grovfoder av baljväxter minskar behovet av kvävegödsling och har i de flesta studier resulterat i lägre metanutsläpp per kg torrsubstansintag eller per kg mjölk eller kött jämfört med vallgrovfoder. Målet med avhandlingen var att utvärdera hur väl ärt-havrehelsädesensilage lämpar sig i en foderstat, med eller utan rapsmjöl, för mjölkkor.</p> <p>Ett experiment utfördes med en gasproduktionsmetod <i>in vitro</i>. Foderstaterna bestod av torkade foder, endera vallgrönfoder, ärt-havregrönfoder eller både vall- och ärt-havregrönfoder som grovfoder, samt korn eller korn och två olika mängder rapsmjöl som kraftfoder. Två olika ärt-havregrönfoder, från år 2015 och år 2016, med ärthalterna 900 respektive 250 g/kg ts, undersöktes. Ärt-havregrönfodrens råproteinhalt var 157 respektive 106 g/kg ts och NDF-halten var 345 respektive 558 g/kg ts, för ärt-havre 2015 och ärt-havre 2016. Kraftfodrets andel av foderstaterna var 40 %, och rapsmjölets andel 0, 5,5 eller 11 %, i torrsubstans. Foderstaternas kemiska sammansättning analyserades, och foderstaternas inverkan på smältbarhet, användbart råprotein i tunntarmen (uCP) och olika våmjäsningsprodukter, så som ammoniak-N, flyktiga fettsyror och metan mättes.</p> <p>Användning av ärt-havregrönfoder försämrade klart foderstatens NDF-smältbarhet. Rapsmjölstillsatsen ledde till ökad halt av ammoniak-N i våmmen och större andel uCP₁₆. Dessa parametrar påverkades mest av foderstatens råproteinhalt, medan grovfodertypen hade mindre inverkan. Foderstaterna med både ärt-havre 2015 och vall ledde till högre andel uCP₁₆ än foderstaterna med endera ärt-havre 2015 eller vall. Kvävenedbrytningen skedde ändå delvis olikartat för ärt-havre och vall. Resultaten gällande de molära andelarna propionsyra och ättiksyra stämde inte överens med en del tidigare studier med baljväxter, i och med att andelen ättiksyra steg och andelen propionsyra sjönk när vallen ersattes med ärt-havre. Detta avspeglades i ökad metanproduktion när ärt-havre 2015 ersatte vall, dock inte i fallet med ärt-havre 2016. Sett till fodervärdet bör det dock eftersträvas hög ärthalt i ärt-havregrönfoder. Enligt dessa resultat kunde ärt-havrehelsädesensilage väl användas i mjölkkors foderstater, komplettering med rapsmjöl kunde ändå vara nödvändig.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Ärt, havre, raps, smältbarhet, metan, uCP, våmjäsning			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Institutionen för lantbruksvetenskaper och campusbiblioteket i Vik			
<p>Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information</p> <p>Arbetet gjordes vid institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap vid Sveriges lantbruksuniversitet i Umeå, och handledes av doktorand Miriam Larsson och universitetslektor Seija Jaakkola.</p>			

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Agricultural Sciences	
Tekijä — Författare — Author Sara Willberg			
Työn nimi — Arbetets titel — Title The effect of whole crop pea-oat and rapeseed meal in grass based diets on digestibility, rumen fermentation and methane production <i>in vitro</i>			
Oppiaine — Läroämne — Subject Animal nutrition			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis		Aika — Datum — Month and year April 2018	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 50 p.
<p>Tiivistelmä — Referat — Abstract</p> <p>Partly replacement of grass silage with pea-oat whole crop silage might increase the nutritional value of diets for dairy cows and be an alternative to buying protein feeds. The chemical composition and digestibility of whole crop pea-grain silages have varied quite a lot in various studies, and have been affected particularly by the pea content of the feed. Forage legumes reduce the need of nitrogen fertilizer and has in most studies resulted in lower methane emissions per kg dry matter intake or per kg milk and meat compared to grass. The goal of the thesis was to evaluate how whole crop pea-oat silage suits in a diet for dairy cows, with or without rapeseed meal supplementation.</p> <p>An experiment was conducted using a gas production method <i>in vitro</i>. The diets were composed of dried feeds, either grass green fodder, pea-oat green fodder or both grass and pea-oat green fodder as forage, and barley or barley and two different levels of rapeseed meal as concentrate. Two different pea-oat green fodders, from 2015 and 2016, with pea proportions of 900 and 250 g/kg dry matter, respectively, were examined. The crude protein concentrations of the pea-oat green fodders were 157 and 106 g/kg dry matter, respectively, and the NDF concentrations were 345 and 558 g/kg dry matter, respectively, for pea-oat 2015 and pea-oat 2016. The proportion of concentrate in the diets was 40%, and the proportion of rapeseed meal 0, 5,5 or 11%, in dry matter. Chemical composition of the diets were analysed, and the effects of diets on digestibility, utilisable crude protein at the duodenum (uCP) and various rumen fermentation products, such as ammonia-N, volatile fatty acids and methane were measured.</p> <p>The diets NDF-digestibility clearly declined as pea-oat green fodder was used. The inclusion of rapeseed meal led to an increased concentration of ammonia-N in the rumen and increased concentration of uCP₁₆. These parameters were most affected by the crude protein concentration of the diets, while the forage type had a smaller effect. The diets with both pea-oat 2015 and grass led to a higher proportion of uCP₁₆ than the diets with either pea-oat 2015 or grass. Nevertheless the nitrogen degradation occurred differently for pea-oat and grass. The results for molar proportions of propionate and acetate were not in agreement with earlier studies with legumes, since the proportion of acetate increased and that of propionate decreased as grass was replaced by pea-oat. This was reflected in increased methane production when pea-oat 2015 replaced grass, however not in the case of pea-oat 2016. In terms of feed value high pea proportion in whole crop pea-oat should still be aimed for. According to these results whole crop pea-oat silage could be used in diets for dairy cows, although supplementation with rapeseed meal might be necessary.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Pea, oat, rapeseed, digestibility, methane, uCP, rumen fermentation			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agricultural Sciences and Viikki Campus Library			
<p>Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information</p> <p>The work was made at the Department of Agricultural Research for Northern Sweden, Swedish University of Agricultural Sciences, in Umeå. Supervisors: Doctoral Student Miriam Larsson and University lecturer Seija Jaakkola.</p>			

INNEHÅLL

1 INLEDNING	5
2 ÄRT-HAVREHELSÄDESENSILAGE ÅT MJÖLKKOR	5
2.1 Samodling av ärt och havre	5
2.2 Förhållandet mellan andelen ärt och spannmål vid sådd och skörd ..	6
2.3 Ärt-havrehelsädesensilagets fodervärde	7
2.3.1 Kemisk sammansättning	8
2.3.2 Smältbarhet	10
2.3.3 Våmjäsning	11
2.3.4 Foderintag och mjölkproduktion	12
3 STUDIENS MÅL	14
4 MATERIAL OCH METODER	14
4.1 Foder och foderstater	14
4.2 Foderanalys	16
4.3 <i>In vitro</i> -experiment	17
4.4 Provtagningar och analyser <i>in vitro</i>	20
4.4.1 Ammoniak	20
4.4.2 Flyktiga fettsyror	21
4.4.3 Metan	21
4.4.4 Smältbarhet av neutral detergent fiber	21
4.5 Uträkningar	22
4.5.1 Användbart råprotein i tunntarmen	22
4.5.2 Metanproduktion	23
4.5.3 Smältbarhet av neutral detergent fiber	23
4.6 Statistisk analys	24
5 RESULTAT	25
5.1 Fodrens och foderstaternas sammansättning	25
5.2 Smältbarhet, metanproduktion och kvävetmetaboli	26
5.2.1 År 2015	27
5.2.2 År 2016	29
5.3 Flyktiga fettsyror	32
6 DISKUSSION	36
6.1 Fodrens och foderstaternas sammansättning	36
6.2 Smältbarhet	38
6.3 Ammoniak	39
6.4 Användbart råprotein i tunntarmen	40
6.5 Flyktiga fettsyror	42
6.6 Metanproduktion	43
7 SLUTSATS	45
8 TACK	45
KÄLLOR	46

1 INLEDNING

Inom mjölkproduktionen blir det allt viktigare att vara så självförsörjande som möjligt gällande proteinfoder. Vallensilage som används måste vara av mycket god kvalitet och innehålla mycket energi, för att en hög mjölkavkastning ska kunna upprätthållas hos mjölkkor. I områden där växtsäsongen är kort, är även skördetiden för högkvalitativt vallensilage kort. Då kan det löna sig att se på andra alternativ än vallensilage, särskilt om alternativen dessutom skulle kunna vara mer ekonomiskt lönsamma än vallensilage.

Att byta ut en del eller allt vallensilage till ärt-havrehelsädesensilage skulle kunna höja det näringsmässiga värdet för mjölkkors foderstater och vara ett alternativ till att köpa in proteinfoder (Salawu m.fl. 2002a). Särskilt inom ekologisk produktion vore användningen av baljväxt-spannmålskombinationer attraktiv, på grund av baljväxtens kvävefixerande förmåga. Utfodring med ärt-spannmålshelsädesensilage i stället för vallensilage har dessutom i vissa fall visat sig medföra högre mjölkavkastning (Salawu m.fl. 2002a).

För att ärt-havrehelsädesensilage ska kunna vara ett alternativ i mjölkkors foderstater, krävs dock forskningsresultat som visar hur ärt-havrehelsädesensilage fungerar i jämförelse med vallensilage. Det är viktigt att forska kring hur ärt-havrehelsädesensilage påverkar kons matsmältning och hur väl kon kan utnyttja ärt-havrehelsädesensilage, så att inte mjölkavkastningen eller kons välmående blir lidande.

2 ÄRT-HAVREHELSÄDESENSILAGE ÅT MJÖLKKOR

2.1 Samodling av ärt och havre

Samodling av två olika grödor har i flera fall visat sig vara mer produktivt än att odla separata grödor (Anil m.fl. 1998). Orsakerna till detta är bland annat effektiviserad ljus- och vattenanvändning, ökad resistens mot sjukdomar och skadegörare, mindre förekomst av ogräs samt minskad vattenavrinning som en följd av bättre marktäckning (Anil m.fl. 1998, Hauggaard-Nielsen m.fl. 2001). Samodling innebär dock oftast större kostnader än att odla grödorna separat, men detta kan kompenseras av produktionen av extra foderprotein ifall en av grödorna är en baljväxt (Anil m.fl. 1998). Baljväxtens

kvävefixering ger nytta åt spannmålen och eliminerar även behovet av kvävegödsling (Salawu m.fl. 2002b), vilket medför kostnadsinbesparingar. Spannmålen ger dessutom stöd åt baljväxterna, vilket förebygger liggsäd som är typiskt för renbestånd av mogna ärter (Salawu m.fl. 2002b).

Helsädesensilage av endast spannmål innehåller ofta mindre råprotein än vallensilage, och därför behövs någon sorts proteinkomplettering för att uppnå höga produktionsnivåer vid användningen av helsädesensilage (Anil m.fl. 1998). Proteinkraftfoder är i allmänhet ganska dyra, varför ett alternativ kunde vara att samodla baljväxter med spannmål. Detta skulle bidra till att höja fodrets totala proteininnehåll jämfört med helsädesensilage av enbart spannmål (Carr m.fl. 2004, Strydhorst m.fl. 2008, Han m.fl. 2012).

Ärt är en proteingröda som kan odlas i största delen av Skandinavien, och i de norra delarna där växtsäsongen är kortare kan den skördas som helsädesensilage. Därför kunde ärter lämpa sig väl för att samodlas med stråsäd. Salawu m.fl. (2001) konkluderade att ärt-vetesamodling kan ge stora skördar av bra kvalitet. Även Carr m.fl. (2004) observerade en större skörd när havre samodlades med ärt, jämfört med renbestånd av någondera grödan. Det finns flera olika ärtsorter, varav vissa är bättre lämpade för samodling och helsädesensilage än andra. Adesogan m.fl. (2004) kom fram till att en kortstråig ärtsort, i stället för en långstråig, förbättrade våmmens mikrobiella avkastning och mjölkproduktionen.

2.2 Förhållandet mellan andelen ärt och spannmål vid sådd och skörd

En mängd olika faktorer inverkar på samodlingens skördemängd och förhållandet mellan andelen spannmål och baljväxt vid skörd. Några av dessa faktorer är förhållandet mellan andelen spannmål och baljväxt vid sådd, andel frön som grodde och etablerades fullständigt, ogräskonkurrens samt tillväxtskede vid skörd (Salawu m.fl. 2001). Därför är det inte lätt att ge ett entydigt svar på hurudant förhållandet mellan andelen ärt och havre skall vara vid sådd.

Det finns relativt lite forskning där man jämfört olika förhållanden mellan andelen spannmål och baljväxt i foderstaterna. Adesogan m.fl. (2002) konstaterade att mer forskning inom området behövs, särskilt gällande vilket ärt-veteförhållande som är

optimalt. Salawu m.fl. (2001) jämförde grönfoder med två olika andelar ärt och vete (cirka 400 jämfört med 710 g/kg ts ärt), och konstaterade att då man ökade andelen ärt till mer än 400 g/kg av fodrets totala torrsubstans, ökade råproteinhalten medan den övergripande foderkvaliteten enbart förbättrades marginellt. Detta överensstämmer i stort med Salawu m.fl. (2002a), som inte märkte skillnader i foderintag, mjölkproduktion och sammansättning samt koncentrationer av blodmetaboliter hos kor som utfodrades med ärt-vetehelsädesensilage framställt av samma grönfoder som Salawu m.fl (2001) använde. Salawu m.fl. (2002a) drog därmed slutsatsen att ärt-vetehelsädesensilage kan skördas med ett stort intervall av förhållanden mellan ärt och vete, utan att det näringsmässiga värdet ändras.

När andelen ärt i beståndet var så lågt som mindre än 200 g/kg observerade Salawu m.fl. (2002b) endast moderata värden för intag och smältbarhet av ärt-vetehelsädesensilage. De föreslog därför att smältbarhet, intag och kvävebalans skulle kunna förbättras genom att öka andelen ärt i beståndet. Adesogan m.fl. (2002) jämförde ärt-vetehelsädesensilage med två olika ärthalter (cirka 400 och 730 g/kg ts ärt) i foderstater för får. De observerade att råproteininnehållet och torrsubstanssmältbarheten var högre för helsädesensilaget med högre ärthalt, medan intaget av torrsubstans, vattenslösliga kolhydrater, stärkelse, neutral detergent fiber (NDF) och kväve samt kvävebalans och kväveansamling var högre för helsädesensilaget med lägre ärthalt. Slutsatsen blev därmed att förhållandet mellan ärt och vete i helsädesensilage möjligen kunde bestämma ensilagets potentiella roll i foderstaten (Adesogan m.fl. 2002).

2.3 Ärt-havrehelsädesensilagets fodervärde

Fodervärdet påverkas av fodrets kemiska sammansättning, dess smältbarhet och hur väl fodret kan omvandlas och användas i kroppen. Bland annat grödans tillväxtskede vid skördetidpunkten inverkar betydligt på fodervärdet. När det gäller ensilage kan även ensileringen påverka fodervärdet, och därmed fodrets smältbarhet, foderintaget och produktionen. I enskilda studier då baljväxtfoder jämförs med vallfoder påverkas resultatet särskilt av vallfodrets smältbarhet och fodervärde, som kan variera stort.

2.3.1 Kemisk sammansättning

Ett av målen vid utfodring med helsädesensilage av samodlad baljväxt-spannmål åt idisslare, är att säkra tillgången till stärkelse och protein (Salawu m.fl. 2002a). Detta kan effektivisera näringsutnyttjandet tack vare en möjlig positiv synkroniserad tillgång till protein och lätt fermenterbar energi i våmmen (Salawu m.fl. 2002a). Ett antal studier har dock visat på inkonsekventa resultat huruvida en synkroniserad näringstillgång verkligen förbättrar produktionen (Yang m.fl. 2010). Även Huhtanen m.fl. (2013) föreslog att en kontinuerlig tillförsel av energi vore viktigare än en synkroniserad näringstillgång.

Råproteinhalten i helsädesensilage av ärt och spannmål varierar en del, främst beroende på ärthalten i ensilaget. Ärt-vetehelsädesensilagens råproteinhalt har varit mellan 105 g/kg ts (Salawu m.fl. 2002b) och 187 g/kg ts (Salawu m.fl. 2002a). För ärt-korngrönfoder har råproteinhalten varit mellan 127 g/kg ts (Strydhorst m.fl. 2008) och 170 g/kg ts (Pursiainen och Tuori 2006), och för ärt-havreggrönfoder 100 g/kg ts (Carr m.fl. 2004). Orsaken till variationerna har varit bland annat olika andel ärt i fodret samt låg kvävehalt i marken (Carr m.fl. 2004). Råproteinhalten i ärt som proteinfoder (257 g/kg ts) var betydligt lägre än halten av råprotein i soja- (478 g/kg) eller rapsmjöl (318 g/kg ts) (Zagorakis m.fl. 2015).

Kor kan tillgodogöra sig protein genom syntes av mikrobprotein i våmmen och genom foderprotein som undgår våmnedbrytning. I bägge fallen absorberas proteinet från tunntarmen. Att endast beakta koncentrationen av råprotein är därför inte det bästa sättet att visa ett foders proteinvärde. I stället kan proteinvärdet mätas som ett värde för omsättbart protein, vars analyseringsmetod varierar mellan olika länder. Användbart råprotein (utilisable crude protein, uCP) som når tunntarmen kan mätas med en modifierad uCP-metod, där det totala flödet av användbart råprotein till tunntarmen mäts som summan av mikrobprotein och onedbrutet foderprotein (Edmunds m.fl. 2012). Metoden har utvecklats och modifierats efterhand, och den har visat sig ha potential att utvärdera foders proteinkvalitet *in vitro* (Edmunds m.fl. 2012, Vaga m.fl. 2017).

Baljväxtfoder överlag har visat sig medföra att mängden protein som absorberas från tunntarmen efter att ha syntetiserats i våmmen från nedbrytning av energi är mindre än motsvarande protein som i stället härstammar från baljväxtens foderprotein (Dewhurst

m.fl. 2009). Detta tyder på att proteininnehållet i baljväxtfoder inte är så lågt att det begränsar deras värde som foder (Phelan m.fl. 2015). Pursiainen och Tuori (2006) fann att mängden aminosyror absorberade från tunntarmen var 82 g/kg ts för ärt-kornhelsädesensilage och 81 g/kg ts för vallensilage. Proteinbalansen i våmmen var 30 g/kg ts för ärt-kornhelsädesensilage och -6 g/kg ts för vallensilage (Pursiainen och Tuori 2006). Att utfodra med ärt-kornhelsädesensilage hade en kurvlinjär effekt på mängden aminosyror som absorberades från tunntarmen (Pursiainen och Tuori 2006). När ärt-kornhelsädesensilage var 330 g/kg ts av grovfodret var mängden aminosyror absorberade från tunntarmen större än när grovfodret var endast vallensilage, medan ännu större andel ärt-kornhelsädesensilage ledde till mindre mängd aminosyror absorberade från tunntarmen än vallensilage (Pursiainen och Tuori 2006). Som proteinfoder har ärt inte lika högt proteinvärde som raps- eller sojamjöl. Förutom ärtens lägre råproteininnehåll, var andelen protein som bröts ner i våmmen (EPD) högre för ärt (83,8 %) än för raps- (60,1 %) och sojamjöl (66,3 %) (Zagorakis m.fl. 2015).

NDF-koncentrationen i ärt-spannmålsgrönfoder och -helsädesensilage har varierat mellan 418 g/kg ts i ärt-korngrönfoder (Strydhorst m.fl. 2008) och 594 g/kg ts i ärt-vetegrönfoder (Adesogan m.fl. 2002). Större andel ärt i ärt-vetehelsädesensilage innebar lägre NDF-koncentration (Adesogan m.fl. 2002). NDF-koncentrationen berodde även till stor del på när skörden skedde, senare skörd innebar högre NDF-koncentration (Adesogan m.fl. 2002, Salawu m.fl. 2002a).

Stärkelsehalten för ärt-spannmålsfoder har i olika studier varit allt mellan 66 g/kg ts (Salawu m.fl. 2002b) och 244 g/kg ts (Salawu m.fl. 2001). Adesogan m.fl. (2002) fann att högre andel ärt innebar högre stärkelsehalt i ärt-vetehelsädesensilage med olika andel ärt.

Samodling av baljväxter med spannmål, jämfört med renbestånd av spannmål har visat sig medföra högre råproteinkoncentration (Carr m.fl. 2004, Strydhorst m.fl. 2008) och lägre NDF-koncentration (Carr m.fl. 2004). När ärt-vetehelsädesensilage jämfördes med vallensilage, hade ärt-vetehelsädesensilaget högre råproteinhalt och stärkelsehalt, medan NDF-koncentrationen var högre för vallensilaget (Salawu m.fl. 2002a).

2.3.2 Smältbarhet

Fodrets smältbarhet är mycket viktigt för att bestämma fodervärdet. Ju högre smältbarhet desto bättre kan djuret utnyttja fodret. Smältbarheten kan undersökas *in vivo*, *in situ* och *in vitro*. Torrsubstanssmältbarheten *in vivo* har varierat mellan 499 g/kg (Salawu m.fl. 2002b) och 650 g/kg (Salawu m.fl. 2002a) för ärt-vetehelsädesensilage. NDF-smältbarheten *in vivo* för ärt-havrehelsädesensilage har varit mellan 440 g/kg för endast ensilage (Rondahl m.fl. 2006) och 580 g/kg för en foderstat baserad på ärt-havrehelsädesensilage (Rondahl m.fl. 2007). Olika ärt-vetehelsädesensilage har haft NDF-smältbarhetsvärden *in vivo* mellan 495 g/kg (Adesogan m.fl. 2002) och 653 g/kg (Adesogan m.fl. 2004). Adesogan m.fl. (2004) konstaterade att det är möjligt att producera ärt-vetehelsädesensilage med hög smältbarhet, men att de olika smältbarhetsvärdena tyder på att kvalitetsvariationer kan förekomma.

In vitro har torrsubstanssmältbarheten för olika ärt-spannmålshelsädesensilage varierat från 648 g/kg till 758 g/kg (Mustafa och Seguin 2004). Smältbarheten *in vitro* för organisk substans har varierat från 509 g/kg till 716 g/kg (Salawu m.fl. 2001) och NDF-smältbarheten från 412 g/kg till 599 g/kg (Mustafa och Seguin 2004). Han m.fl. (2012) observerade att den verkliga smältbarheten *in vitro* (IVTD) för olika ärt-havregroönfoder i medeltal var 912 g/kg (första skörden) och 818 g/kg (andra skörden).

Foderstatens smältbarhet för organisk substans och råprotein påverkades inte av att vallensilaget (*in vitro* organisk substans-smältbarhet: 660 g/kg ts) byttes ut mot ärt-kornhelsädesensilage (Pursiainen och Tuori 2006). NDF-smältbarheten minskade däremot linjärt när andelen ärt-kornhelsädesensilage i foderstaten ökade på bekostnad av andelen vallensilage (Pursiainen och Tuori 2006). Vallensilage hade högre smältbarhet för torrsubstans, organisk substans och NDF än ärt-spannmålshelsädesensilage (Adesogan m.fl. 2002, Rondahl m.fl. 2007). Rondahl m.fl. (2007) föreslog att den lägre NDF-smältbarheten för ärt-spannmålshelsädesensilage kunde bero på att stärkelsekoncentrationen i ärt-spannmålshelsädesensilaget var högre än i vallensilaget. Adesogan m.fl. (2004) uppvisade däremot högre NDF-smältbarhet för foderstater med större andel ärt i ärt-vetehelsädesensilaget. Smältbarheten för helsädesensilage av endast ärt har varit 637 g/kg och 666 g/kg, för torrsubstans respektive organisk substans (Salawu m.fl. 2002b).

2.3.3 Våmjäsning

Våmmen är en av kons förmagar. I våmmen jäser fodret med hjälp av olika mikrober. Då bildas bland annat flyktiga fettsyror, metan och ammoniak. Flyktiga fettsyror ger energi åt kon efter att de har absorberats genom våmväggen. Bildandet av de olika flyktiga fettsyrorna påverkas av hur och med vilken hastighet kolhydratfermenteringen sker (Boadi m.fl. 2004).

Halten av flyktiga fettsyror i våmvätskan har inte visat sig påverkas av att kor utfodrats med ärt-kornhelsädesensilage, vallensilage eller olika blandningar av dessa (Pursiainen och Tuori 2006). De molära förhållandena mellan olika flyktiga fettsyror har däremot påverkats. Adesogan m.fl. (2004) fann högre molär andel ättiksyra och lägre molär andel propionsyra hos kor som utfodrades med ärt-vetehelsädesensilage i stället för vallensilage. Pursiainen och Tuori (2006) fann däremot att den molära andelen ättiksyra minskade och den molära andelen propionsyra ökade som en följd av att gradvis byta ut vallensilage mot ärt-kornhelsädesensilage i foderstaten. Detta förklarades med att ensilagets jäsning och mjölksyrainhalt påverkade förhållandet mellan ättiksyra och propionsyra (Adesogan m.fl. 2004, Pursiainen och Tuori 2006), samt att Pursiainen och Tuori (2006) använde foderstater med olika halter kraftfoder.

Förhållandet mellan olika flyktiga fettsyror i våmmen påverkar metanproduktionen. Metan är en kraftig växthusgas, som kommer ut i atmosfären via kons rapningar. Dessutom innebär metanproduktionen en förlust för kon på omkring 6 % av fodrets energi (Johnson och Johnson 1995). Särskilt förhållandet mellan propionsyra och ättiksyra har en betydande inverkan på hur mycket metan som bildas (Johnson och Johnson 1995). Högre molär andel ättiksyra och smörsyra resulterar i mer metanproduktion, medan propionsyra minskar på metanproduktionen (Boadi m.fl. 2004).

Utfodring med foderstater som innehåller mycket stärkelse medför att mycket propionsyra produceras, vilket därmed minskar metanproduktionen (Boadi m.fl. 2004). Enligt Phelan m.fl. (2015) har grovfoder av baljväxter i allmänhet resulterat i lägre metanutsläpp per kg torrsustansintag eller per kg mjölk- eller köttproduktion jämfört med vallgrovfoder. Detta har dock skett när baljväxtfodret har medfört högre foderintag och passagehastighet i våmmen än vullen den jämförts med (Phelan m.fl. 2015). I

studier där baljväxtfodret medförde liknande eller lägre frivilligt dagligt foderintag än vall, har inga skillnader eller till och med högre metanutsläpp per kg torrsubstansintag observerats för baljväxtfoder (Phelan m.fl. 2015).

När protein nedbryts i våmmen frigörs ammoniak. Våmmens ammoniakhalt påverkas alltså främst av foderstatens sammansättning. Ammoniaken används dels av mikroberna, dels absorberas den genom våmväggen. Mikroberna behöver även energi för att kunna utnyttja ammoniaken och bilda mikrobprotein. Våmvätskans koncentration av ammoniak-N ökade när halten av ärt-kornhelsädesensilage i foderstaten gradvis ökade och ersatte vallensilage (Pursiainen och Tuori 2006). När Adesogan m.fl. (2004) jämförde ärt-vetehelsädesensilage och vallensilage påverkades däremot inte koncentrationen av ammoniak-N i våmmen.

2.3.4 Foderintag och mjölkproduktion

För att mjölkproduktionen ska vara så hög som möjligt måste även foderintaget vara tillräckligt stort. Intaget av ärt-vetehelsädesensilage hos mjölkkor har varit högre än intaget av vallensilage, delvis beroende på att ärt-vetehelsädesensilaget hade högre råprotein- och stärkelsehalter (Adesogan m.fl. 2002, Salawu m.fl. 2002a). Även ensilage av andra baljväxter har medfört högre intag än vallensilage (Dewhurst m.fl. 2003a). Detta berodde på att foderpartiklarna nedbröts fort och passerade snabbt genom våmmen vid utfodring med lusern samt att fermenteringen och passagen genom våmmen var snabb vid utfodring med vitklöver (Dewhurst m.fl. 2003a). En annan orsak var att våmmen var mindre fylld när man utfodrade med vitklöver eller lusern jämfört med vallensilage, vilket var en följd av den mycket höga passagehastigheten från våmmen (Dewhurst m.fl. 2003a). Bayat m.fl. (2010) observerade högre andel osmältbar NDF (iNDF) och lägre andel NDF i våmmen när korna utfodrades med rödklöver i stället för vallensilage, vilket indikerar på skillnader i NDF-smältbarhet och passagehastighet för NDF mellan rödklöver och vall (Bayat m.fl. 2010).

Adesogan m.fl. (2002) konstaterade att intaget av ärt-vetehelsädesensilage var så högt att det kompenserade för dess moderata smältbarhet, och därmed försäkrade relativt sett högre intag av smältbara näringsämnen jämfört med vallensilage. Pursiainen och Tuori (2006) kom däremot fram till att ärt-kornhelsädesensilage endast kan ersätta upp till två

tredjedelar av foderstatens förtorkade vallensilage av måttlig kvalitet, utan att minska intaget av ensilage.

Utfodring med ärthelsädesensilage innebar högre intag hos får än ärt-vetehelsädesensilage, vilket troligen berodde på ärthelsädesensilagens snabbare nedbrytningshastighet och större råproteininnehåll, våmnedbrytbarhet och totalsmältbarhet (Salawu m.fl. 2002b). Även andra sorters baljväxtensilage har visat sig ha en hög intagspotential (Dewhurst m.fl. 2003b).

Eftersom ärt-havrehelsädesensilage ofta innehåller mer protein än vallensilage, skulle det kunna vara möjligt att minska på kraftfodergivan vid utfodring med ärt-havrehelsädesensilage. Förhållandet mellan ärt och vete i ärt-vetehelsädesensilage samt skördetidpunkten inverkar på om ärt-vetehelsädesensilage kunde bespara in användningen av kraftfoder jämfört med vallensilage (Salawu m.fl. 2002a). Överlag var inbesparingen dock ganska liten, varför Salawu m.fl. (2002a) drog slutsatsen att ärt-vetehelsädesensilage kunde ha en begränsad roll som alternativt foder. Rondahl m.fl. (2007) observerade däremot att en blandning av ärt-havrehelsädesensilage och vallensilage resulterade i en kraftfoderinbesparing, eftersom korna presterade lika bra när de fick blandningen och 7 kg kraftfoder/dag/ko, som när de fick blandningen, enbart ärt-havrehelsädesensilage eller enbart vallensilage, samt 10 kg kraftfoder/dag/ko. Även Adesogan m.fl. (2004) observerade att ärt-vetehelsädesensilage i stället för första skördens rajgräsensilage, halverade kraftfoderbehovet för mjölkkor utan att negativt inverka på mjölkavkastning eller -kvalitet.

När kraftfodermängden var konstant, observerade Salawu m.fl. (2002a) att mjölkavkastningen var större när kor utfodrades med ärt-vetehelsädesensilage i stället för vallensilage. Detta berodde delvis på att intaget av råprotein och smältbar torrsubstans var högre för ärt-vetehelsädesensilage än för vallensilage (Salawu m.fl. 2002a).

3 STUDIENS MÅL

Målet med avhandlingen är att utvärdera hur väl ärt-havrehelsädesensilage lämpar sig i en foderstat, med eller utan rapsmjöl, för mjölkkor. För att uppnå detta jämförs olika foderstater *in vitro* med avseende på kemisk sammansättning, smältbarhet, uCP och olika våmjäsningsprodukter. De jämförda foderstaterna bestod av endera vallgrönfoder, ärt-havregrönfoder eller både vall- och ärt-havregrönfoder som grovfoder samt korn eller korn och två olika mängder rapsmjöl som kraftfoder. Hypotesen var att ärt-havregrönfoder skulle medföra annorlunda värden för de undersökta parametrarna, vilket skulle påverkas särskilt av foderstatens ärtandel. På basis av forskningsresultaten kan råd ges om vilken eller vilka av foderstaterna som skulle passa bäst för högproducerande mjölkkor. Denna avhandling gjordes som en del av projektet "Rätt mängd stallgödsel optimerar odling av baljväxtgrönfoder i norra Sverige", som leds av docent Cecilia Palmborg. Doktorand Miriam Larsson var handledare till examensarbetet. Båda arbetar vid institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap vid Sveriges lantbruksuniversitet i Umeå.

4 MATERIAL OCH METODER

4.1 Foder och foderstater

Ärt-havregrönfodren producerades somrarna 2015 och 2016 vid Röbbäcksdalens försöksstation, Umeå, Sverige (64° N, 20° E), och ingick i ett gödsselförsök med olika kvävenivåer. Ärtsorten (*Pisum sativum* L.) som användes var SW Clara och havren (*Avena sativa*) var av sorten Haga. Det aktuella försöksledet gödslades med 20 kg/ha fosfor och 50 kg/ha kalium, men inget kväve. Ärt-havren såddes den 9 juni år 2015 och den 8 juni år 2016 med förhållandena (viktprocent av utsädesmängd för renbestånd) ärt:havre 80:20 år 2015 och 60:40 år 2016. Utsädesmängden var 239 kg/ha ärt och 41 kg/ha havre år 2015, och 179 kg/ha ärt och 82 kg/ha havre år 2016. Ärt-havren skördades med en skördare (Haldrup F50) till en stubbhöjd på 5-7 cm. År 2015 skedde skörden 77 dagar efter sådd, den 24 augusti, och år 2016 72 dagar efter sådd, den 18 augusti. Vid skörd var förhållandet (i ts) ärt:havre 90:6 år 2015 och 25:75 år 2016. Foderproven togs två dagar innan skörd år 2015 och dagen innan skörd år 2016, från det växande beståndet.

I försöket undersöktes ärt-havregrönfoderproven genom att bilda olika foderstater av dem tillsammans med kraftfoder och vall. Vallfodret som användes såddes in år 2012 och skördades 10 juni 2013, som första skörden det första vallåret. Utsädesblandningen bestod av 200 g/kg rödklöver (*Trifolium pratense*) och resten timotej (*Phleum pratense*), skörden bestod dock främst av timotej eftersom det var första skörden från första vallåret.

Försöket bestod av en 3×3 faktoriell design för proven både från år 2015 och från år 2016, vilka inkluderade tre nivåer av ärt-havregrönfoder (ÄH) samt tre nivåer av rapsmjöl i foderstaterna. I de fall när grovfodret bestod av endast vall användes samma resultat för år 2015 och 2016, vilket resulterade i totalt 15 olika foderstater. Foderstaterna bestod av 60 % grovfoder och 40 % kraftfoder i torrsubstans (Tabell 1). I kontrollfoderstaterna (V) var grovfodret enbart vall, som sedan ersattes med 50 % ärt-havregrönfoder (V15ÄH och V16ÄH) och 100 % ärt-havregrönfoder (15ÄH och 16ÄH). Siffrorna 15 och 16 i namnen representerar de olika åren ärt-havregrönfodren odlades. Alla grovfodervarianter kombinerades med kraftfoder som bestod av korn samt tre olika nivåer av rapsmjöl. Rapsmjölet var 0, 5,5 eller 11 % av hela foderstaten.

Tabell 1. Foderstaternas sammansättning (g/kg ts). Foderstaternas grovfoder var vall (V), en blandning av 50 % vall och 50 % ärt-havregrönfoder från år 2015 (V15ÄH) och år 2016 (V16ÄH) samt ärt-havregrönfoder från år 2015 (15ÄH) och år 2016 (16ÄH). Foderstaternas kraftfoderandel var 40 %, vilken bestod av korn samt tre olika nivåer av rapsmjöl (0; 55 och 110 g/kg ts).

Foderstat	Vall	Ärt-havre 2015	Ärt-havre 2016	Korn	Rapsmjöl
V0	600			400	
V55	600			345	55
V110	600			290	110
V15ÄH0	300	300		400	
V15ÄH55	300	300		345	55
V15ÄH110	300	300		290	110
15ÄH0		600		400	
15ÄH55		600		345	55
15ÄH110		600		290	110
V16ÄH0	300		300	400	
V16ÄH55	300		300	345	55
V16ÄH110	300		300	290	110
16ÄH0			600	400	
16ÄH55			600	345	55
16ÄH110			600	290	110

4.2 Foderanalys

Ärt-havregrönfoderproven torkades i 60 °C i 48 h (Memmert UF+ 750) och maldes först med en knivkvarn (Retsch SM 2000) till 1 mm och sedan med en kulkvarn (Retsch MM 200). Den totala kvävehalten för ärt-havregrönfodren analyserades med ¹⁵N naturlig abundans-metoden vid Oregon State University, USA, och råproteinhalten bestämdes genom att det totala kväveinnehållet multiplicerades med 6,25.

Vallfodrets och rapsmjölets kvävehalt bestämdes med Kjeldahluppslutning av 1,0 g prov i 12 M svavelsyra genom att använda en Foss Tecator Kjeltabs Cu (Höganäs, Sverige) i ett Block Digestion 28-system (SEAL Analytical Ltd., Mequon, WI, USA) där totalkväve bestämdes med kontinuerlig flödesanalys i en Auto Analyzer 3 (SEAL Analytical Ltd., Mequon, WI, USA). Råproteinhalten erhöles sedan genom att multiplicera kvävehalten med 6,25. Kornets råproteinhalt analyserades av Forage

Testing Laboratory Dairy One Inc. (USA) genom förbränning med en CN628-kol/kväveanalysator.

Alla foderprover (ärt-havregrönfoder, vall, korn och rapsmjöl) analyserades enligt följande. Torrsubstanshalten bestämdes genom att torka proven i 105 °C i 16 timmar (Memmert modell 400), och fodrens askhalt bestämdes genom att därefter föraska proven i 500 °C i 4 timmar (Nabertherm Controller B 180). Halten av neutral detergent fiber (NDF) bestämdes med hjälp av en metod där fodren i filterpåsar kokades i neutral detergentlösning med en Ankom fiber Analyzer A220, enligt instruktionerna från ANKOM Technology (2017). Provens stärkelsehalt analyserades kolorimetriskt (Salo och Salmi 1968) med en spektrofotometer (Shimadzu UV-VIS mini 1240, Shimadzu Europa GmbH, Duisburg, Tyskland). Fodrens råfetthalt analyserades genom extraktion med petroleumeter efter HCl-hydrolys (FOSS Soxtec 8000 extraktionsenhet, SoxCap 2047 hydrolysenhet, FOSS Analytical, Hillerød, Danmark).

4.3 *In vitro*-experiment

In vitro-experimentet utfördes som en inkubation i ett helautomatiserat system för mätning av gasproduktion (Cone m.fl. 1996). Systemet bestod av tre vattenbad med ett antal flaskor, dit det som undersöktes placerades. De gastäta flaskorna kopplades till en central där gasproduktionen automatiskt mättes, och utgående från resultaten kunde bland annat metanproduktionen uträknas.

Två körningar av experimentet gjordes, så att alla foderstater inkuberades i totalt tre replikationer, i olika flaskor och bad varje gång (Tabell 2). I varje körning inkluderades tre blanka flaskor utan foder, en i varje bad, och i varje replikation inkluderades en foderstat bestående av enbart standardvall. Resultaten från de blanka flaskorna användes för att korrigera de övriga flaskornas resultat och standardvallen användes för att jämföra dessa körningar med tidigare körningar gjorda med samma apparatur.

Tabell 2. Placeringen av flaskorna och foderstaterna i de olika *in vitro*-körningarna. Antalet flaskor som användes understeg antalet platser i baden och därför lämnades några tomma, därav strecken i tabellen.

Körning 1, bad 1		Körning 1, bad 2		Körning 1, bad 3	
Flaska	Foderstat	Flaska	Foderstat	Flaska	Foderstat
1	Blank	13	V0	25	V55
2	15ÄH110	14	V16ÄH110	26	16ÄH55
3	15ÄH0	15	V15ÄH55	27	-
4	Standardvall	16	V15ÄH0	28	15ÄH0
5	V16ÄH55	17	Blank	29	V0
6	-	18	-	30	-
7	V110	19	V15ÄH110	31	15ÄH55
8	16ÄH110	20	Standardvall	32	V15ÄH0
9	-	21	-	33	Blank
10	V15ÄH55	22	V16ÄH0	34	16ÄH0
11	V55	23	V110	35	V15ÄH110
12	-	24	-	36	-

Körning 2, bad 1		Körning 2, bad 2		Körning 2, bad 3	
Flaska	Foderstat	Flaska	Foderstat	Flaska	Foderstat
1	15ÄH55	13	15ÄH110	25	V16ÄH0
2	V15ÄH0	14	15ÄH0	26	V110
3	V16ÄH110	15	16ÄH55	27	16ÄH110
4	16ÄH0	16	V16ÄH55	28	Blank
5	V15ÄH110	17	15ÄH55	29	V15ÄH55
6	-	18	-	30	-
7	16ÄH55	19	16ÄH110	31	V16ÄH110
8	Blank	20	16ÄH0	32	15ÄH110
9	-	21	-	33	-
10	V0	22	V55	34	Standardvall
11	V16ÄH0	23	-	35	V16ÄH55
12	-	24	Blank	36	-

Våmvätska samlades från två fistelförsedda mjölkkor av rasen svensk röd och vit boskap (SRB) som utfodrades fritt enligt en foderstat bestående av 61 % vallensilage, 25 % krossensilerat korn och 14 % kraftfoder (Addera N 440, Lantmännen, Sverige) (färskvikt). Dessutom fick de extra kraftfoder enligt hur mycket de mjölkade. Våmvätskan samlades in på morgonen efter mjölkningen och transporterades i två förvärmade och CO₂-spolade termosar, som fylldes helt och förslöts omedelbart. Därefter

filtrerades 800 ml våmvätska, jämnt fördelat från de båda termosarna, genom fyra lager ostduk i en förvärmd flaska. Våmvätskans pH mättes (744 pH meter Metrohm) för att kontrollera att det var på en normal nivå.

Våmvätskan förinkuberades med kolhydrater i 3 timmar i 39 °C för att stimulera mikrobiell aktivitet och minska bakgrundshalten av ammoniak-N (Karlsson m.fl. 2009). Kolhydraterna som tillsattes var: 1,6 g pektin (Sigma no. P-9135, Sigma-Aldrich, Inc. Danmark) upplöst i 50 ml buffertlösning, 3,2 g maltos (Sigma no. M-2250, Sigma-Aldrich, Inc. Slovakien), 1,6 g stärkelse (Sigma no. S-5127, Sigma-Aldrich, Inc. USA) och 1,6 g xylos (Sigma no. X-1500, Sigma-Aldrich, Inc. USA). Även 2,8 g NaHCO_3 upplöst i 50 ml buffertlösning tillsattes. Buffertlösningen bestod av 35 g NaHCO_3 och 1 g $(\text{NH}_4)\text{HCO}_3$ i totalt 1000 ml destillerat vatten. Vid körning två blandades inte inkubationsblandningen ordentligt och värmdes därför upp, vilket gjorde att en del klumpar bildades. Av den orsaken filtrerades den genom ostduk när den tillsattes i våmvätskan.

Våmvätskan spolades med koldioxid under hela förinkubationen vid båda körningarna, för att undvika kontaminering med syre. Efter 30 minuter från förinkubationens början vid båda körningarna, avlägsnades skum och det översta lagret med foderpartiklar. Vid körning två tömdes emellertid koldioxidcylindern vid tiden mellan två och tre timmar efter förinkubationens början, och ersattes efter ett tag med en ny.

Efter förinkubationen blandades våmvätskan med en buffrad minerallösning enligt Menke och Steingass (1988), men i stället för 1 g användes 4 g $(\text{NH}_4)\text{HCO}_3$ i buffertlösningen. Denna modifiering förhindrar att kväve blir begränsande faktor för mikrobernas produktion av biomassa (Edmunds m.fl. 2012). Blandningen skedde enligt volymförhållandet 1:4,2 för våmvätska till buffertblandning och gjordes under konstant spolning med koldioxid. Två parallella prov på 0,6 ml för analys av ammoniak-N togs från våmvätskan, från våmvätskeblandningen i början av förinkubationen, efter: en, två och tre timmar av förinkubationen samt efter förinkubationen från den slutliga våmbuffertblandningen. Proven behandlades på samma sätt som ammoniakproven som togs under den egentliga inkubationen (se nedan). Prov på 1 ml för analys av VFA togs från den obehandlade våmvätskan samt efter förinkubationen från den slutliga våmbuffertblandningen. Proven sattes i eppendorfrör och förvarades därefter i -20 °C.

Proven som togs under förinkubationen användes för att försäkra att förinkubationen hade lyckats och att inkubationens startvärden var normala.

Den egentliga inkubationen började genom att flaskor (Schott, Mainz, Tyskland, 250 ml) med de uppvägda foderstaterna (0,5 g ts), vilka var placerade i 39 °C vattenbad, i tur och ordning spolades med koldioxid och fylldes med 60 ml våmbuffertblandning. Vid den andra körningen är det möjligt att flaskor nummer 14 med foderstaten 15ÄH0 fick för lite våmbuffertlösning, eftersom pipetten då tog in lite luft. Flaskorna kopplades in i systemet och gasproduktionen mättes genom att använda ett helautomatiserat system, som mätte var tolfte minut och den uppmätta gasvolymen korrigerades till normalt lufttryck (Cone m.fl. 1996). Vattenbaden rörde sig svagt gungande under hela inkubationstiden för att efterlikna våmmen. Vattenbaden fylldes vid behov på med varmt vatten på grund av avdunstning, men vid första körningen fylldes det i stället på med kallt vatten cirka 16,5 timmar efter inkubationens start. Detta påverkade dock inte nämnvärt vattenbadens temperatur. Efter 48 timmar av inkubation, efter att de nedan beskrivna proven hade tagits, togs flaskorna upp ur baden, pH mättes (744 pH meter Metrohm) och flaskorna sattes på is. Mätningen av pH gjordes för att försäkra att inkubationen hade förlöpt enligt planerna. Innehållet tömdes i torkade nylonpåsar med 11 µm porstorlek, vilka därefter förvarades i -20 °C.

4.4 Provtagningar och analyser *in vitro*

4.4.1 Ammoniak

Vid 8, 16, 24 och 30 timmar efter att inkubationen hade börjat togs ett prov på 0,6 ml för analys av ammoniak-N från varje flaska, med en spruta för varje flaska. Provtagningen skedde ur ett plaströr enligt en metod beskriven av Karlsson m.fl. (2009). Vid provtagningen 8 timmar efter start i den första körningen tappades provet från flaska 23 och ett nytt prov togs direkt. Proven sattes i eppendorfrör med 0,024 ml svavelsyra och förvarades därefter i -20 °C. När prov för analys av ammoniak-N och VFA togs med sprutor från flaskorna, spolades inte lösningen tillbaka i flaskan, vilket innebär att det varje gång blev ungefär 0,35 ml lösning kvar i röret varifrån provet togs. Denna lösning befann sig då inte längre bland den övriga lösningen i flaskan i 39 °C, vilket kan ha påverkat resultatens pålitlighet. Denna felbehandling är dock densamma

för alla prover och båda körningarna, vilket innebär att proven ändå är jämförbara sinsemellan.

Proven för analys av ammoniak-N tinades upp och centrifugerades (12500 g, 5 min), och 0,2 ml av varje prov sattes i teströr och späddes ut med 1,8 ml destillerat vatten. Koncentrationen av ammoniak-N analyserades genom att använda en kontinuerlig flödesanalysator (AutoAnalyzer 3 HR, SEAL Analytical, Southampton, Storbritannien).

4.4.2 Flyktiga fettsyror

Vid 48 timmar efter att inkubationen hade börjat togs prover för analys av flyktiga fettsyror (VFA) med sprutor på samma sätt som för analys av ammoniak-N. Prover för analys av VFA togs som 1 ml från de flaskor med foderstater som fanns enbart i en flaska i den körningen och 0,5 ml från varje flaska med samma foderstat från de flaskor med foderstater som fanns i två flaskor i den körningen. Provens VFA-halt bestämdes sedan vätskekromatografiskt (Acquity, UPLC, Waters, Milford, USA) enligt Lamminen m.fl. (2017).

4.4.3 Metan

Prov för analys av metan togs genom en gummitätning med en gastät spruta (Hamilton, Bonaduz, Schweiz) enligt en metod beskriven av Ramin och Huhtanen (2012). Proven togs från varje flaska vid 24 och 48 timmar efter inkubationens start. 0,2 ml av varje prov analyserades i en gaskromatograf (star 3400 CX, Varian Chromatography, USA) noggrannare beskrivet av Ramin och Huhtanen (2012). Vid första körningen böjdes sprutans nål när prov togs efter 24 timmar från flaska nummer 16, vilket innebar att proven från flaska 17-35 den provtagningen togs med en böjd nål. Nålen byttes sedan ut till de följande provtagningarna.

4.4.4 Smältbarhet av neutral detergent fiber

För att bestämma NDF-smältbarheten tinades nylonpåsarna upp och kokades sedan en timme i neutral detergentlösning i vilken det blandades 5 g Na_2SO_3 /l lösning. Påsarna sköljdes noggrant i avjoniserat vatten, och kokades 10 min i vatten. Sedan torkades påsarna i 105 °C i 16 timmar och vägdes.

4.5 Uträkningar

4.5.1 Användbart råprotein i tunntarmen

För varje flaska uträknades användbart råprotein i tunntarmen (utilisable crude protein, uCP) enligt Edmunds m.fl. (2012):

$$uCP \text{ (g/kg ts)} = \frac{NH_3N_{blank} + N_{prov} - NH_3N_{prov}}{invägt} * 6,25 * 1000, \quad (1)$$

där

NH_3N_{blank} = massan (mg) av ammoniak-N i den blanka flaskan i samma bad som provet vid den aktuella tiden

N_{prov} = massan (mg) av N i provet vid början av inkubationen

NH_3N_{prov} = massan (mg) av ammoniak-N i den berörda flaskan vid den aktuella tiden

invägt = den invägda massan (mg ts) av provet vid början av inkubationen.

Denna uträkning gjordes för alla provtagningstider (8, 16, 24 och 30 h). Naturliga logaritmen av uCP plottades mot tiden, och skärningspunkten och lutningen användes för att räkna ut effektiv uCP enligt följande ekvation:

$$Effektiv uCP_{16} \text{ (g/kg ts)} = e^{(skärningspunkten + lutningen \times retentionstid)}, \quad (2)$$

där retentionstiden var den antagna retentionstiden i våmmen, vilket var 16 timmar. Vid 16 timmars inkubation motsvaras det onedbrutna fodret i flaskorna av det onedbrutna fodret med typisk smältning och passagehastighet i ett dynamiskt våmsystem (Vaga m.fl. 2017). Även vid förinkubation av nylonpåsar i våmmen, för att sedan bestämma tunntarmssmältbarheten för onedbrutet protein, används allmänt en inkubationstid på 16 timmar, eftersom denna tid tros reflektera den påverkan våmmens metabolism har på fodret förrän det förs vidare till tunntarmen (Hvelplund och Weisbjerg 2000).

4.5.2 Metanproduktion

Metanproduktionen uträknades för tiderna 24 och 48 timmar efter inkubationens början enligt Ramin och Huhtanen (2012):

$$\begin{aligned} \text{Total metanproduktion (ml)} = & \\ & \text{volymen ovanför vätskan (ml)} \times \\ & \text{metankoncentrationen i volymen ovanför vätskan (ml)} + \\ & \text{gasproduktionen (ml)} \times A \times \\ & \text{metankoncentrationen i volymen ovanför vätskan.} \end{aligned} \quad (3)$$

Volymen ovanför vätskan i systemet var 265 ml (volymen för flaskorna och tryckslangarna som var kopplade till gasmätningsboxen). Den totala gasproduktionen mättes och sparades automatiskt av systemet samt korrigerades för normalt lufttryck. Konstanten A är förhållandet mellan metankoncentration i utflödande gas och metankoncentrationen i volymen ovanför vätskan, och den modellesterades till 0,55 av Ramin och Huhtanen (2012).

4.5.3 Smältbarhet av neutral detergent fiber

För att få smältbarheten av NDF jämfördes foderstaternas ursprungliga NDF-mängd med NDF-mängden i foderstaterna efter inkubationen, alltså resten efter kokningen, enligt följande:

$$\text{NDFsmältbarhet} \left(\frac{g}{kg} \right) = \frac{\text{ursprunglig NDFmängd (g ts)} - \text{rest efter kokning (g)}}{\text{ursprunglig NDFmängd (g ts)}} * 1000. \quad (4)$$

4.6 Statistisk analys

De statistiska analyserna gjordes med SAS Mixed Procedure (version 9.4, SAS Institute, Cary, NC, USA). De olika åren 2015 och 2016 analyserades var för sig och statistiskt analyserades hur foderstaterna inverkade på NDF-smältbarhet, uCP₁₆, metanproduktion, ammoniak-N, VFA-produktionen samt de flyktiga fettsyrornas molära förhållanden. Fasta effekter var foderstat (F) och körning (K), medan flasknummer (N) var slumpmässig effekt, enligt följande modell:

$$Y_{ijkl} = \mu + F_i + K_j + N_k + e_{ijkl}, \quad (5)$$

där e_{ijkl} var den slumpmässiga feltermen. Vid statistisk analys av VFA samt uCP₁₆ för år 2016 användes inte flasknummer som slumpmässig effekt, eftersom vissa VFA-prov var tagna från flera olika flaskor och statistisk analys av uCP för år 2016 inte fungerade när flasknumret beaktades.

Ett medelvärde för koncentrationen av ammoniak-N från proven tagna vid olika tider (8, 16, 24 och 30 h efter inkubationens början) användes i statistiken. Vid den statistiska analysen för ammoniak-N och valeriansyra år 2015 gjordes en logaritmisk transformation för att uppnå normalitet. Endast metanproduktionen 48 timmar efter inkubationens start analyserades, och två av dessa observationer (en observation med foderstaten V55 och en med 15ÄH55) togs inte med i statistiken på grund av deras avvikande värden.

Foderstaternas effekt undersöktes vidare genom att använda följande ortogonala kontraster: ÄH Lin = linjär effekt från foderstatens andel av ärt-havregrönfoder; ÄH Q = kvadratisk effekt från foderstatens andel av ärt-havregrönfoder; R Lin = linjär effekt från foderstatens andel av rapsmjöl; R Q = kvadratisk effekt från foderstatens andel av rapsmjöl; ÄH Lin*R Lin = interaktion mellan ÄH Lin och R Lin; ÄH Lin*R Q = interaktion mellan ÄH Lin och R Q; ÄH Q*R Lin = interaktion mellan ÄH Q och R Lin; och ÄH Q*R Q = interaktion mellan ÄH Q och R Q. Foderstaternas effekt ansågs statistiskt signifikant då $p < 0,05$.

5 RESULTAT

5.1 Fodrens och foderstaternas sammansättning

Ärt-havregroönfodrets råproteinhalt var klart högre år 2015 än år 2016 (157 vs 106 g/kg ts), medan vallens råproteinhalt var 157 g/kg ts (Tabell 3). Även stärkelsehalten i ärt-havregroönfodren var 31 g/kg ts större år 2015 än år 2016. Koncentrationen av neutral detergent fiber var 576 g/kg ts för vall, 345 g/kg ts för ärt-havre 2015 och 558 g/kg ts för ärt-havre 2016.

Tabell 3. Fodrens kemiska sammansättning (g/kg ts).

	Vall	Ärt-havre 2015	Ärt-havre 2016	Korn	Rapsmjöl
Torrsubstans (g/kg)	927	921	937	891	928
Aska	59	58	83	28	77
Råprotein	157	157	106	125	391
NDF ¹	576	345	558	193	298
Stärkelse	24	134	103	568	33
Råfett ²	-	15	17	23	25

¹NDF = Neutral detergent fiber.

²Vallens råfetthalt analyserades inte.

Ju mera rapsmjöl foderstaterna innehöll, desto högre var råproteinhalten (Tabell 4). När andelen ärt-havre 2016 ökade blev råproteinhalten lägre, medan ärt-havre 2015 inte påverkade råproteinhalten jämfört med vall. NDF-koncentrationen minskade klart av att vällen gradvis ersattes med ärt-havre 2015. När andelen rapsmjöl var som högst var stärkelsehalten i medeltal 59 g/kg ts lägre än när andelen rapsmjöl var noll. Ju mer ärt-havre foderstaterna innehöll, desto högre var stärkelsehalten. Stärkelsehalten var även högre för ärt-havre 2015 än 2016.

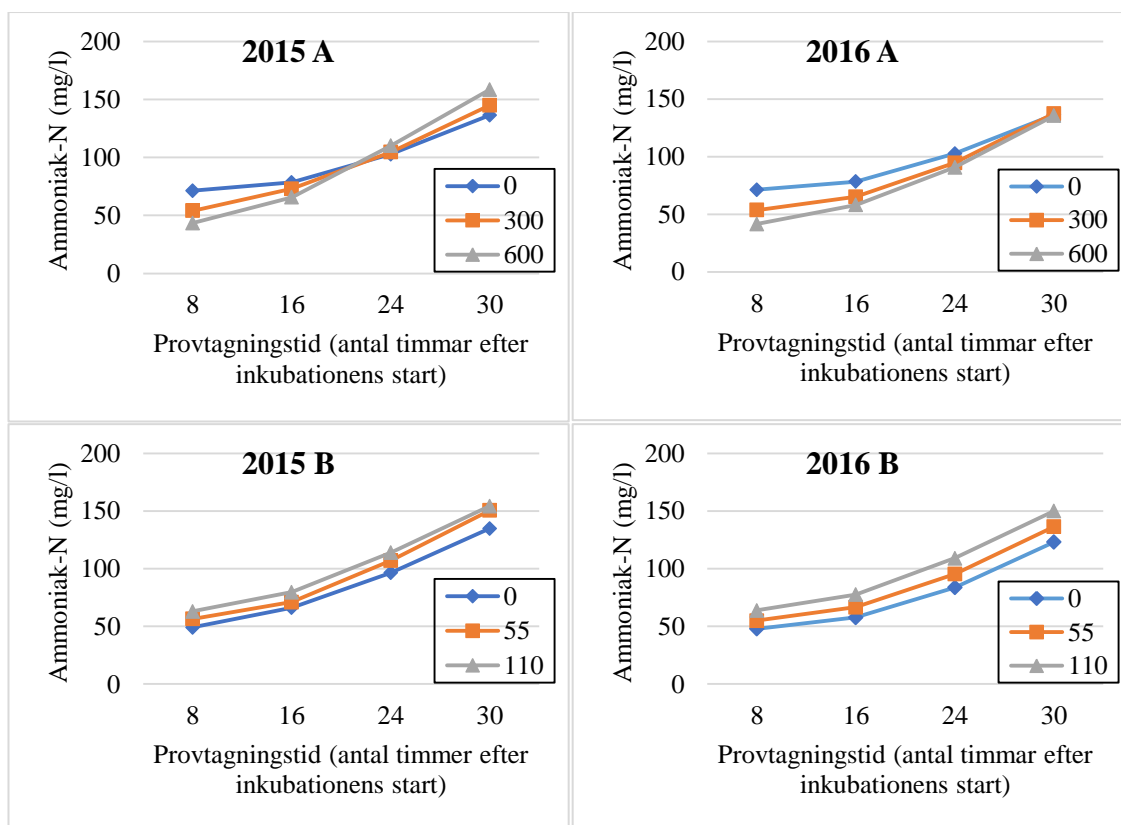
Tabell 4. Foderstaternas kemiska sammansättning (g/kg ts).

Grovfoder	Nivå av rapsmjöl	Organisk substans	Råprotein	NDF ¹	Stärkelse
Vall	0	953	144	423	242
	55	951	159	429	212
	110	948	173	435	183
Vall och ärt-havre 2015	0	954	144	354	275
	55	951	159	359	245
	110	948	173	365	216
Ärt-havre 2015	0	954	144	284	308
	55	951	159	290	278
	110	949	173	296	249
Vall och ärt-havre 2016	0	946	129	418	265
	55	943	144	423	236
	110	941	158	429	206
Ärt-havre 2016	0	939	114	412	289
	55	936	128	418	259
	110	934	143	424	230

¹NDF = Neutral detergent fiber.

5.2 Smältbarhet, metanproduktion och kvävetmetaboli

Koncentrationen av ammoniak-N i flaskorna steg under inkubationens gång (Figur 1). Ju högre andelen rapsmjöl var i foderstaterna, desto högre var koncentrationen av ammoniak-N för båda åren och alla provtagningstidpunkter. Även foderstatens andel av ärt-havregrönfoder påverkade koncentrationen av ammoniak-N. Vid den första provtagningen (8 timmar efter inkubationens start) var koncentrationen av ammoniak-N störst för foderstaterna som var utan ärt-havre, och minst för foderstaterna med högst andel ärt-havre, för bägge åren. Ju längre inkubationen led desto mer närmade sig foderstaterna med olika andel ärt-havre varandra, för att år 2015 efter 24 timmars inkubation bli tvärtom, det vill säga foderstaterna med mest ärt-havre medförde högst koncentration av ammoniak-N och foderstaterna utan ärt-havre lägst koncentration av ammoniak-N. År 2016 dröjde det till 30 timmars inkubation innan foderstaterna med olika andel ärt-havre medförde ungefär likadana koncentrationer av ammoniak-N.



Figur 1. Koncentrationen av ammoniak-N (mg/l) för år 2015 och år 2016, enligt foderstatens andel ärt-havregrönfoder (0, 300 och 600 g/kg ts) (A) och enligt foderstatens andel rapsmjöl (0, 55 och 110 g/kg ts) (B).

5.2.1 År 2015

Foderstatens NDF-smältbarhet minskade linjärt ($p < 0,001$) då andelen ärt-havregrönfoder ökade, medan metanproduktionen ($p < 0,001$) ökade linjärt då andelen ärt-havregrönfoder ökade (Tabell 5). Produktionen av ammoniak-N var som lägst (kvadratisk effekt $p < 0,05$) och andelen uCP_{16} som högst (kvadratisk effekt $p < 0,01$), när foderstaten innehöll både vall och ärt-havre.

Ju mer rapsmjöl foderstaten innehöll, desto lägre var foderstatens NDF-smältbarhet och högre uCP_{16} (linjärt samband, $p < 0,001$). Metanproduktionen minskade då foderstatens andel rapsmjöl ökade ($p < 0,05$). Halten av ammoniak-N ökade när andelen rapsmjöl ökade från den lägsta till den mellersta nivån, men inte mer när andelen rapsmjöl ökade

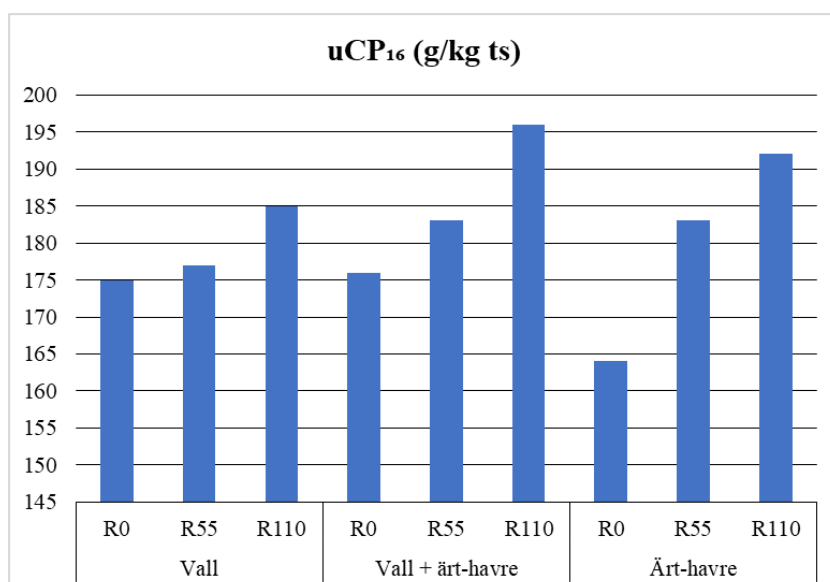
från den mellersta till den högsta nivån (kvadratisk effekt $p < 0,01$). Interaktionen mellan den linjära effekten från foderstatens andel av ärt-havregrönfoder och den linjära effekten från foderstatens andel av rapsmjöl var statistiskt signifikant för andelen uCP_{16} ($p < 0,01$; Figur 2).

Tabell 5. Foderstaternas inverkan (år 2015) på NDF-smältbarhet (g/kg), användbart råprotein i tunntarmen (uCP_{16} , g/kg ts), metanproduktion (ml/g organisk substans) samt medelvärdet av ammoniak-N-proven tagna vid olika tider (mg/l).

Grovfoder	Nivå av rapsmjöl (g/kg ts)	NDF-smältbarhet	Metan	Ammoniak-N ¹	uCP_{16}
Vall	0	694	37,7	81,7	175
	55	675	36,2	96,1	177
	110	669	36,2	104,6	185
Vall och ärt-havre 2015	0	620	43,4	85,8	176
	55	620	40,4	93,3	183
	110	603	38,6	99,4	196
Ärt-havre 2015	0	583	49,5	85,2	164
	55	557	45,3	99,4	183
	110	540	46,7	100,3	192
SEM		7,7	1,81	0,008	2,7
Kontraster*					
ÄH Lin		<0,001	<0,001	0,420	0,713
ÄH Q		0,238	0,242	<0,05	<0,01
R Lin		<0,001	<0,05	<0,001	<0,001
R Q		0,900	0,238	<0,01	0,761
ÄH Lin*R Lin		0,236	0,657	0,094	<0,01
ÄH Lin*R Q		0,901	0,480	0,265	0,079
ÄH Q*R Lin		0,206	0,347	0,150	0,808
ÄH Q*R Q		0,240	0,639	0,072	0,367

*ÄH Lin = linjär effekt från foderstatens andel av ärt-havregrönfoder; ÄH Q = kvadratisk effekt från foderstatens andel av ärt-havregrönfoder; R Lin = linjär effekt från foderstatens andel av rapsmjöl; R Q = kvadratisk effekt från foderstatens andel av rapsmjöl; ÄH Lin*R Lin = interaktion mellan ÄH Lin och R Lin; ÄH Lin*R Q = interaktion mellan ÄH Lin och R Q; ÄH Q*R Lin = interaktion mellan ÄH Q och R Lin; ÄH Q*R Q = interaktion mellan ÄH Q och R Q.

¹SEM-värdet samt kontrasterna för ammoniak-N presenteras här för logaritmerade värden.



Figur 2. Andelen användbart råprotein i tunntarmen (uCP₁₆, g/kg ts) år 2015, enligt foderstatens andel rapsmjöl (R0, R55 och R110 innebär 0, 55 och 110 g/kg ts) och foderstatens kraftfoder (endast vall, hälften vall och hälften ärt-havre samt endast ärt-havre).

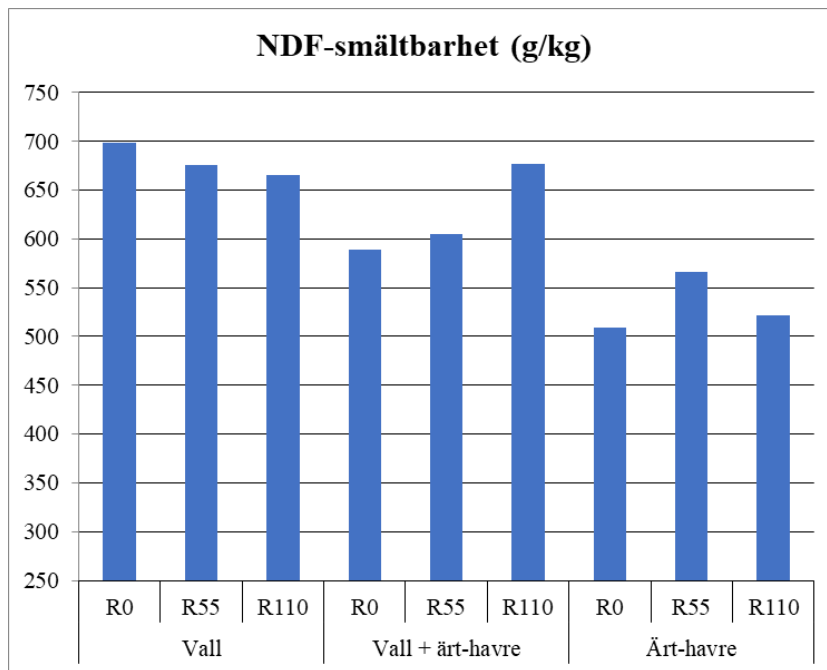
5.2.2 År 2016

NDF-smältbarheten, halten av ammoniak-N och uCP₁₆ var som högst när foderstaten innehöll endast vall som grovfoder, och minskade linjärt ($p < 0,001$) när allt större del av vallen byttes ut mot ärt-havregrönfoder (Tabell 6). Halten av ammoniak-N och uCP₁₆ ökade linjärt ($p < 0,001$) när andelen rapsmjöl i foderstaterna ökade. Interaktionen mellan den kvadratiske effekten från foderstatens andel av ärt-havregrönfoder och den linjära effekten från foderstatens andel av rapsmjöl ($p < 0,01$) samt interaktionen mellan den kvadratiske effekten från foderstatens andel av ärt-havregrönfoder och den kvadratiske effekten från foderstatens andel av rapsmjöl ($p < 0,05$) var statistiskt signifikanta för NDF-smältbarheten (Figur 3). Interaktionen mellan den kvadratiske effekten från foderstatens andel av ärt-havregrönfoder och den kvadratiske effekten från foderstatens andel av rapsmjöl var statistiskt signifikant för koncentrationen av ammoniak-N ($p < 0,01$; Figur 4).

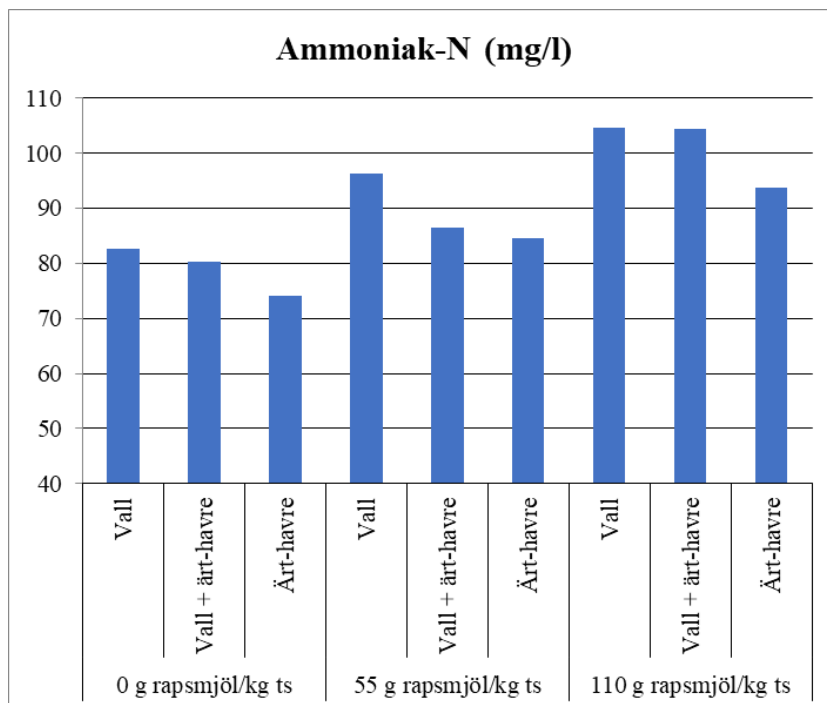
Tabell 6. Foderstaternas inverkan (år 2016) på NDF-smältbarhet (g/kg), användbart råprotein i tunntarmen (uCP₁₆, g/kg ts), metanproduktion (ml/g organisk substans) samt medelvärdet av ammoniak-N-proven tagna vid olika tider (mg/l).

Grovfoder	Nivå av rapsmjöl (g/kg ts)	NDF- smältbarhet	Metan	Ammoniak-N	uCP ₁₆
Vall	0	698	37,8	82,6	173
	55	676	36,3	96,3	176
	110	665	36,2	104,6	185
Vall och ärt-havre 2016	0	589	37,6	80,3	159
	55	605	37,4	86,5	166
	110	677	35,8	104,5	174
Ärt-havre 2016	0	509	37,7	74,1	148
	55	566	39,4	84,6	157
	110	522	38,9	93,8	161
SEM		16,8	2,07	1,63	1,7
Kontraster*					
ÄH Lin		<0,001	0,181	<0,001	<0,001
ÄH Q		0,142	0,529	0,342	0,654
R Lin		0,091	0,634	<0,001	<0,001
R Q		0,631	0,736	0,480	0,786
ÄH Lin*R Lin		0,160	0,451	0,449	0,631
ÄH Lin*R Q		0,057	0,636	0,451	0,125
ÄH Q*R Lin		<0,01	0,622	0,207	0,445
ÄH Q*R Q		<0,05	0,863	<0,01	0,967

*ÄH Lin = linjär effekt från foderstatens andel av ärt-havregrönfoder; ÄH Q = kvadratisk effekt från foderstatens andel av ärt-havregrönfoder; R Lin = linjär effekt från foderstatens andel av rapsmjöl; R Q = kvadratisk effekt från foderstatens andel av rapsmjöl; ÄH Lin*R Lin = interaktion mellan ÄH Lin och R Lin; ÄH Lin*R Q = interaktion mellan ÄH Lin och R Q; ÄH Q*R Lin = interaktion mellan ÄH Q och R Lin; ÄH Q*R Q = interaktion mellan ÄH Q och R Q.



Figur 3. NDF-smältbarheten (g/kg) år 2016, enligt foderstatens andel rapsmjöl (R0, R55 och R110 innebär 0, 55 och 110 g/kg ts) och foderstatens kraftfoder (endast vall, hälften vall och hälften ärt-havre samt endast ärt-havre).



Figur 4. Medelvärde av ammoniak-N-provens koncentrationer tagna vid olika tider (mg/l) år 2016, enligt foderstatens kraftfoder (endast vall, hälften vall och hälften ärt-havre samt endast ärt-havre) och foderstatens andel rapsmjöl (0, 55 och 110 g rapsmjöl/kg ts).

5.3 Flyktiga fettsyror

Den totala produktionen av flyktiga fettsyror för år 2015 påverkades inte av andelen ärt-havregrönfoder i foderstaten (Tabell 7). Det molära förhållandet mellan de olika undersökta flyktiga fettsyror påverkades däremot av foderstaterna. Den molära andelen ättiksyra ($p<0,001$), smörsyra ($p<0,01$) och kapronsyra ($p<0,001$) ökade linjärt, medan den molära andelen propionsyra minskade linjärt ($p<0,001$) när andelen ärt-havregrönfoder från år 2015 ökade i foderstaten.

Andelen rapsmjöl i foderstaten inverkade inte på den totala produktionen av flyktiga fettsyror för år 2015. Ju mer rapsmjöl som fanns i foderstaterna från år 2015, desto större molär andel ättiksyra ($p<0,01$) och isovaleriansyra ($p<0,05$) samt mindre molär andel smörsyra ($p<0,01$) och kapronsyra ($p<0,01$), förändringarna var linjära.

Tabell 7. Foderstaternas inverkan (år 2015) på mängden flyktiga fettsyror i våmmen (Total VFA, mmol) samt de molära proportionerna av ättiksyra, propionsyra, smörsyra, valeriansyra, kapronsyra och isovaleriansyra (mmol/mol).

Grovfoder	Nivå av rapsmjöl (g/kg ts)	Total VFA	Ättik- Syra	Propion- syra	Smör- syra	Valerian- syra ¹	Kapron- syra	Isovalerian- syra
Vall	0	3,80	590	244	129	17,0	3,11	8,26
	55	3,41	598	237	124	17,7	2,87	8,91
	110	3,75	606	234	117	18,9	2,92	9,60
Vall och ärt-havre 2015	0	3,75	603	228	131	16,2	3,60	8,53
	55	4,11	604	225	129	18,5	3,54	9,40
	110	3,61	612	224	123	18,2	3,16	9,40
Ärt-havre 2015	0	4,89	611	209	139	17,3	4,46	8,66
	55	3,43	610	215	133	17,2	4,11	9,16
	110	4,13	622	209	127	17,7	3,94	9,26
SEM		0,539	3,5	3,6	2,6	0,021	0,099	0,370
Kontraster*								
ÄH Lin		0,294	<0,001	<0,001	<0,01	0,553	<0,001	0,744
ÄH Q		0,841	0,998	0,811	0,702	0,984	0,086	0,624
R Lin		0,491	<0,01	0,154	<0,01	0,076	<0,01	<0,05
R Q		0,396	0,232	0,631	0,547	0,670	0,744	0,460
ÄH Lin*R Lin		0,533	0,420	0,215	0,916	0,442	0,135	0,344
ÄH Lin*R Q		0,467	0,298	0,252	0,820	0,969	0,716	0,749
ÄH Q*R Lin		0,790	0,386	0,864	0,401	0,582	0,614	0,872
ÄH Q*R Q		0,193	0,874	0,619	0,780	0,271	0,101	0,554

*ÄH Lin = linjär effekt från foderstatens andel av ärt-havregrönfoder; ÄH Q = kvadratisk effekt från foderstatens andel av ärt-havregrönfoder; R Lin = linjär effekt från foderstatens andel av rapsmjöl; R Q = kvadratisk effekt från foderstatens andel av rapsmjöl; ÄH Lin*R Lin = interaktion mellan ÄH Lin och R Lin; ÄH Lin*R Q = interaktion mellan ÄH Lin och R Q; ÄH Q*R Lin = interaktion mellan ÄH Q och R Lin; ÄH Q*R Q = interaktion mellan ÄH Q och R Q.

¹SEM-värdet samt kontrasterna för valeriansyra presenteras här för logaritmerade värden.

Inte heller för år 2016 påverkades den totala produktionen av flyktiga fettsyror av andelen ärt-havregrönfoder i foderstaten (Tabell 8). Den molära andelen ättiksyra, smörsyra och kapronsyra ökade linjärt ($p < 0,001$) och den molära andelen propionsyra minskade linjärt ($p < 0,001$), när andelen ärt-havregrönfoder för år 2016 ökade i foderstaten.

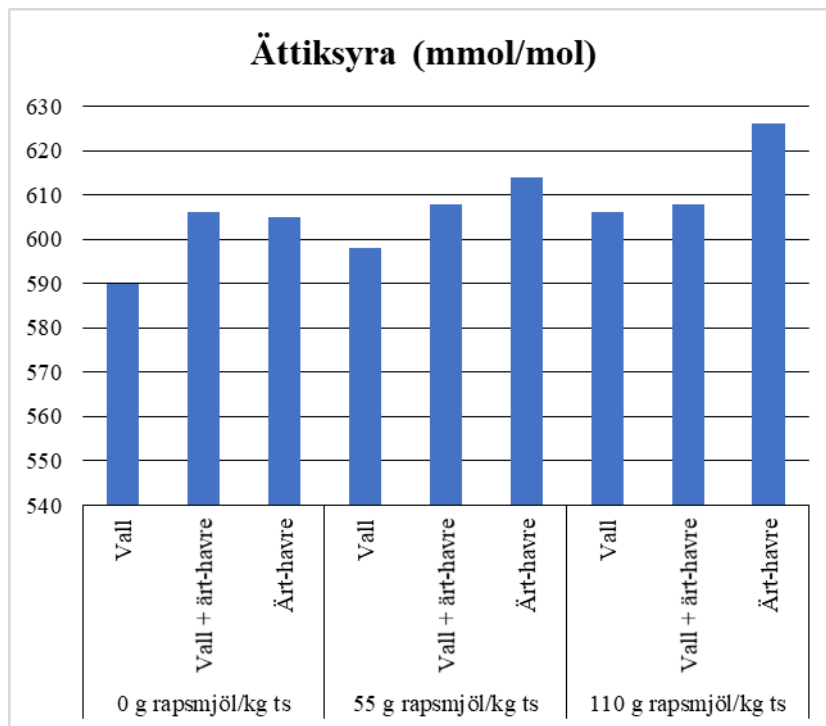
Den totala produktionen av flyktiga fettsyror påverkades inte heller av foderstatens andel rapsmjöl år 2016. Den molära andelen ättiksyra ($p < 0,001$) och isovaleriansyra

($p < 0,01$) ökade linjärt när andelen rapsmjöl ökade i foderstaten för år 2016. Den molära andelen propionsyra ($p < 0,05$) och smörsyra ($p < 0,001$) minskade däremot linjärt när andelen rapsmjöl ökade i foderstaten för år 2016. Interaktionen mellan den kvadratiske effekten från foderstatens andel av ärt-havregrönfoder och den linjära effekten från foderstatens andel av rapsmjöl var statistiskt signifikant för de molära koncentrationerna av ättiksyra och smörsyra ($p < 0,01$; Figur 5 och Figur 6).

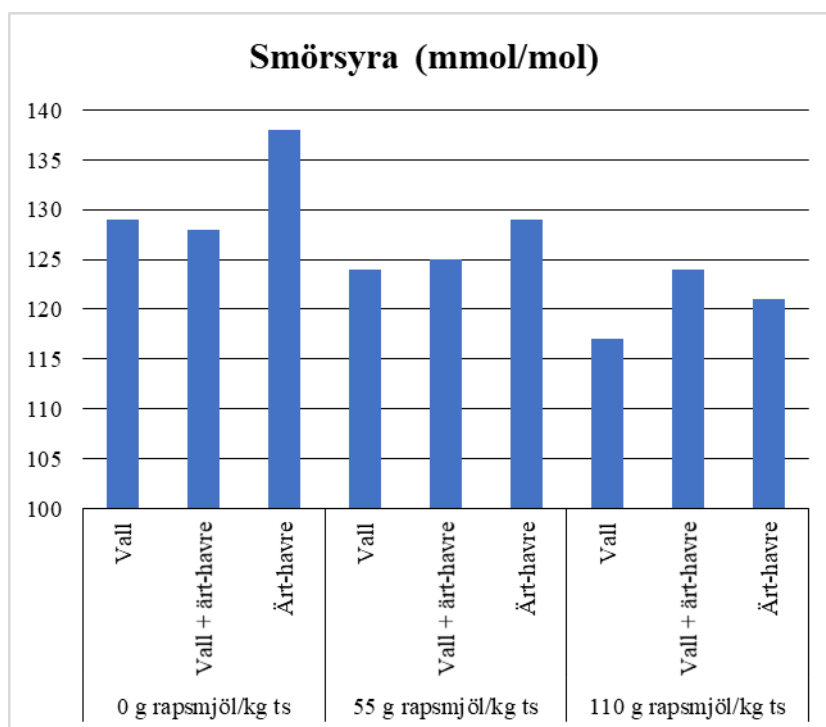
Tabell 8. Foderstaternas inverkan (år 2016) på mängden flyktiga fettsyror i våmmen (Total VFA, mmol) samt de molära proportionerna av ättiksyra, propionsyra, smörsyra, valeriansyra, kapronsyra och isovaleriansyra (mmol/mol).

Grovfoder	Nivå av rapsmjöl (g/kg ts)	Total VFA	Ättik-Syra	Propion-syra	Smör-syra	Valerian-syra	Kapron-syra	Isovalerian-syra
Vall	0	3,80	590	244	129	17,0	3,11	8,26
	55	3,41	598	237	124	17,7	2,87	8,91
	110	3,75	606	234	117	18,9	2,92	9,60
Vall och ärt-havre 2016	0	3,57	606	228	128	16,4	3,18	8,21
	55	3,46	608	228	125	17,3	3,16	8,52
	110	3,43	608	225	124	17,8	3,33	9,88
Ärt-havre 2016	0	3,48	605	216	138	17,4	3,79	8,69
	55	3,47	614	216	129	17,0	3,46	9,43
	110	3,90	626	210	121	18,2	3,46	9,83
SEM		0,413	2,3	2,7	1,4	0,82	0,113	0,417
Kontraster*								
ÄH Lin		0,911	<0,001	<0,001	<0,001	0,653	<0,001	0,287
ÄH Q		0,629	0,681	0,652	0,632	0,370	0,578	0,420
R Lin		0,823	<0,001	<0,05	<0,001	0,080	0,219	<0,01
R Q		0,495	0,841	0,666	0,941	0,611	0,126	0,688
ÄH Lin*R Lin		0,579	0,467	0,481	0,123	0,513	0,549	0,814
ÄH Lin*R Q		0,838	0,556	0,356	0,506	0,699	0,942	0,798
ÄH Q*R Lin		0,660	<0,01	0,325	<0,01	0,993	0,071	0,578
ÄH Q*R Q		0,696	0,722	0,876	0,475	0,586	0,750	0,363

*ÄH Lin = linjär effekt från foderstatens andel av ärt-havregrönfoder; ÄH Q = kvadratisk effekt från foderstatens andel av ärt-havregrönfoder; R Lin = linjär effekt från foderstatens andel av rapsmjöl; R Q = kvadratisk effekt från foderstatens andel av rapsmjöl; ÄH Lin*R Lin = interaktion mellan ÄH Lin och R Lin; ÄH Lin*R Q = interaktion mellan ÄH Lin och R Q; ÄH Q*R Lin = interaktion mellan ÄH Q och R Lin; ÄH Q*R Q = interaktion mellan ÄH Q och R Q.



Figur 5. Den molära andelen ättiksyra (mmol/mol) år 2016, enligt foderstatens kraftfoder (endast vall, hälften vall och hälften ärt-havre samt endast ärt-havre) och foderstatens andel rapsmjöl (0, 55 och 110 g rapsmjöl/kg ts).



Figur 6. Den molära andelen smörsyra (mmol/mol) år 2016, enligt foderstatens kraftfoder (endast vall, hälften vall och hälften ärt-havre samt endast ärt-havre) och foderstatens andel rapsmjöl (0, 55 och 110 g rapsmjöl/kg ts).

6 DISKUSSION

De flesta tidigare studier gällande fodervärde eller utfodring med helsädesensilage av ärtspannmålsblandningar har gjorts med ärt-vete (bland andra Salawu m.fl. 2001, Adesogan m.fl. 2002) eller ärt-korn (Pursiainen och Tuori 2006, Strydhorst m.fl. 2008). Dessutom har många tidigare studier gällande ärt-spannmål som foder gjorts med helsädesensilage i stället för torkade grönfoder, som användes i denna studie. I en fungerande ensileringsprocess sker mjölksyrarjäsning där socker omvandlas till mjölk- och ättiksyra (Woolford 1984), vilket bör beaktas när värden från grönfoder och ensilage jämförs. Att mäta fodervärdet med gasproduktionsmetod *in vitro* har antagligen inte gjorts tidigare för ärt-spannmålshelsädesensilage, men metoden har visat sig vara användbar för andra sorters foder (Van Gelder m.fl. 2005).

6.1 Fodrens och foderstaternas sammansättning

Det använda vallgrönfodrets sammansättning motsvarade fodertabellernas värden (gräsväxter, skörd 1, normal skörd; Luke 2018). Trots att det i vallutsädet ingick en del rödklöver, som brukar medföra lägre NDF-halter (Luke 2018), var vallfodrets NDF-koncentration (576 g/kg ts) betydligt mer lik gräsväxters än rödklövers (Luke 2018). Ärt-havregrönfodren var ganska olika i sammansättning, främst på grund av att förhållandet mellan andelen ärt och havre var olika. Ärt-havren från år 2015, med betydligt högre andel ärt, hade därför även högre koncentration av råprotein och stärkelse, medan koncentrationen av NDF var lägre, jämfört med ärt-havre 2016. Vallens råproteinhalt var lika som ärt-havrens från år 2015, medan NDF-halten var liknande som ärt-havrens från år 2016. Stärkelsehalten var dock klart högre för ärt-havregrönfodren än vällen, på grund av att ärter och havrekärnor är stärkelserika (Luke 2018). Råfettet i ärt-havren torde delvis härstamma från havrens kärnor. Ärt-havrens råfetthalt var dock ganska låg, vilket tyder på den inte påverkades särskilt mycket av havrekärnorna i ärt-havren. Kornet och rapsmjölet som användes var av normal sammansättning (Luke 2018).

När mer raps tillsattes i foderstaten på bekostnad av andelen korn, ökade råprotein- och NDF-halten, medan stärkelsehalten minskade. Raps bidrar alltså med råprotein och NDF, medan kornet är stärkelserikt. Råproteinhalterna för foderstater med vall, ärt-

havre från år 2015 eller bådadera, var likadana eftersom vall och ärt-havre 2015 hade likadana råproteinkoncentrationer. När vallen stegvis byttes ut mot ärt-havre från år 2016 minskade foderstatens råproteinhalt klart. Halten av NDF följde liknande mönster som råproteinhalten, med undantag av att de olika ärt-havregrönfodren fungerade tvärtemot. Ärt-havre från år 2016 hade liknande NDF-koncentration som vallen, vilket innebar att även foderstaterna som innehöll dessa hade liknande NDF-koncentrationer, medan NDF-halten för foderstater med ärt-havre 2015 hade lägre NDF-koncentrationer ju mer ärt-havre 2015 de innehöll. Foderstaternas stärkelsehalt var lägst då foderstaterna inte innehöll ärt-havre alls. Ärt-havre från år 2016 i foderstaten innebar lägre stärkelsehalt jämfört med ärt-havre 2015. Detta återspeglas klart i grovfodrens stärkelsehalter.

Adesogan m.fl. (2002) och Salawu m.fl. (2002a) undersökte ärt-vetehelsädesensilage med liknande förhållanden mellan utsädesmängderna som denna studie (high pea, HP, motsvarade ärt-havre 2015 och low pea, LP, motsvarade ärt-havre 2016). Deras råproteinhalter var dock lite lägre jämfört med ärt-havre 2015 och klart högre jämfört med ärt-havre 2016. Skillnaderna kunde bero på att tillväxttiden för ärt-havre 2015 var ett par veckor kortare än för Adesogan m.fl. (2002) och Salawu m.fl. (2002a), som dessutom använde vete i stället för havre. Råproteinhalten för ärt-havre 2016 motsvarade ungefär ärt-vetehelsädesensilage med utsädesmängderna 48 kg/ha ärt och 100 kg/ha vete (Salawu m.fl. 2001, Salawu m.fl. 2002b). I denna studie användes däremot 179 kg/ha ärt och 82 kg/ha havre.

Stärkelsehalten i ärt-havre 2015 och 2016 motsvarade stärkelsehalten uppmätt i ärt-vetehelsädesensilage (high pea, cut 1, Salawu m.fl. 2002a) respektive ärt-kornhelsädesensilage (Pursiainen och Tuori 2006). Ärt-havrehelsädesensilagens stärkelsehalter har dock varierat mycket mellan olika studier. En förklaring till detta kan vara olika andel ärt i fodren (Adesogan m.fl. 2002), eftersom ärtkärnorna innehåller mycket stärkelse (Luke 2018).

Ärt-havre 2015 hade mycket låg halt av NDF, jämfört med andra studier med ärt-spannmål. Detta kunde bero på att skörden av ärt-havren skedde ganska tidigt. Adesogan m.fl. (2002) observerade lägre NDF-halt när ärthalten var hög. Olika spannmålsslag har olika koncentrationer av NDF (Luke 2018), vilket även kan påverka jämförelserna med andra studier. Bägge ärt-havregrönfodren innehöll lite lägre andel

råfett än andra studier (18-29 g/kg ts) med ärt-spannmål (Salawu m.fl. 2002a, Pursiainen och Tuori 2006).

6.2 Smältbarhet

NDF-smältbarheterna var på en liknande nivå som i andra studier med ärt-spannmålshelsädesensilage (Adesogan m.fl. 2004, Rondahl m.fl. 2007). Det är dock inte ändamålsenligt att jämföra värden från olika studier, eftersom skördetidpunkten oftast är olika, vilket avsevärt påverkar smältbarheten. Dessutom är de flesta smältbarheter mätta *in vivo*, vilket inte är fallet i denna studie.

Foderstaternas NDF-smältbarhet var klart beroende av andelen ärt-havregrönfoder i foderstaten, eftersom smältbarheten var högre ju mindre andelen ärt-havregrönfoder var. Detta överensstämmer med flera andra studier som har observerat högre smältbarhet för vallensilage än ärt-spannmålshelsädesensilage (Adesogan m.fl. 2002, Rondahl m.fl. 2007). Adesogan m.fl. (2004) observerade däremot lägre smältbarhet för vallensilage jämfört med olika sorters ärt-vetehelsädesensilage, och konstaterade att de höga smältbarheterna för ärt-vetehelsädesensilagen gentemot tidigare resultat tyder på att variationer i kvaliteten är möjliga. Därmed är det antagligen möjligt att framställa även ärt-havrehelsädesensilage med lika hög eller högre smältbarhet än vallensilage.

I en metaanalys av Huhtanen m.fl. (2011) observerades att foderstaters komplettering med proteinfoder, så som rapsmjöl, ökade foderstaternas smältbarhet. Så var inte fallet i denna studie år 2015. Orsaken till att ökad andel rapsmjöl i stället sänkte foderstatens NDF-smältbarhet år 2015 kan vara att rapsmjölet innehöll betydligt mer NDF än kornet, som rapsmjölet ersatte. Därmed ökade foderstaternas andel NDF som härstammade från kraftfodret. Kraftfoders fibersmältbarhet är lägre än både gräsväxters och havre-ärt-vickerbestånds (Luke 2018). Detta resonemang gällde dock inte för år 2016, där responsen av rapsmjölsökningen var mer mångfacetterad. En förklaring till detta kan vara att ärt-havre 2016 innehöll mer havre och mer NDF än ärt-havre 2015, vilket innebar att rapsmjölets NDF år 2016 inte påverkade NDF-smältbarheten lika mycket som år 2015. När grovfodret bestod av både vall och ärt-havre 2016 förbättrades NDF-smältbarheten klart av rapsmjölsökningen, så var även fallet när grovfodret var endast ärt-havre 2016 och den lägre rapsmjölsmängden tillsattes.

6.3 Ammoniak

Eftersom extra ammoniak absorberas bort från våmmen *in vivo*, är det svårt att jämföra värden av ammoniakhalter från denna studie med andra studier. Trots det höll sig alla ammoniakkväve-koncentrationer inom ramen för våmmens referensvärden *in vivo* enligt McSweeney och Mackie (2012). Grosse Brinkhaus m.fl. (2017) undersökte olika baljväxter *in vitro* och observerade aningen högre ammoniakvärden efter 24 timmars inkubation jämfört med försöken både år 2015 och år 2016.

I takt med nedbrytningen av foderstaternas protein, steg koncentrationen av ammoniak-N i flaskorna under inkubationens gång. Ju högre foderstatens andel av rapsmjöl och därmed även protein var, desto högre var också koncentrationen av ammoniak-N. Gällande grovfodrets inverkan på halten av ammoniak-N, verkar det som att vallens protein nedbryts snabbare än ärt-havrens. Dewhurst m.fl. (2003a) observerade att kvävelösligheten (baserad på vattenextrahering och filtrering genom filterpapper) för rödklöversilage var klart lägre än för vallensilage.

I början av inkubationen var bägge årens koncentrationer av ammoniak-N ganska lika, troligen på grund av att främst vallens protein hade nedbrutits då, eftersom vallens protein nedbröts snabbare än ärt-havrens. Mot slutet av inkubationen skiftade sedan proteinnedbrytningen från vallen mot ärt-havren. Därför blev ammoniak-N-halten slutligen högre för år 2015 än år 2016, eftersom ärt-havren från år 2015 innehöll betydligt mer ärt och därmed även protein, än ärt-havren från år 2016. Kvävenedbrytningen för baljväxter har visat sig vara högre än för vall (Dewhurst m.fl. 2003a), vilket kan förklara varför ammoniakhalterna för foderstaterna med endast vall som grovfoder inte nådde upp till samma nivå som för foderstaterna med ärt-havre 2015, trots att råproteinhalten för ärt-havre 2015 och vallen var lika.

Medeltalen från alla mätningstidpunkter för koncentrationen av ammoniak-N ökade ju mer rapsmjöl foderstaten innehöll, eftersom rapsmjölet innehöll mer protein än kornet som det ersatte. För år 2015 var dock effekten kvadratisk, rapsmjölets höjande effekt avstannade troligen på grund av att ärt-havren från år 2015 innehöll mer protein än ärt-havren från år 2016 med mindre andel ärt. Därmed avtog rapsmjölets höjande effekt på ammoniak-N-halten när foderstatens råproteinhalt blev tillräckligt hög.

Ammoniak-N-halten för år 2016 minskade när foderstaternas andel ärt-havre ökade, eftersom vallen, som ersattes med ärt-havre, innehöll mer protein än ärt-havren från år 2016. För år 2015, då vallen och ärt-havren innehöll lika hög halt protein, var skillnaderna i halten av ammoniak-N signifikanta, om än numeriskt sett små. Pursiainen och Tuori (2006) observerade att våmmens ammoniak-N-halt ökade när foderstatens andel av ärt-kornhelsädesensilage ökade, men då var råproteinhalten högre för ärt-kornhelsädesensilaget än vallen det ersatte. Resultaten stämmer även ganska bra överens med Adesogan m.fl. (2004) som jämförde ärt-vetehelsädesensilage med vall. Då var fodrens råproteinhalter ungefär lika, vilket avspeglades i liknande koncentration av ammoniak-N i våmmen (Adesogan m.fl. 2004).

6.4 Användbart råprotein i tunntarmen

Begreppet andelen användbart råprotein som flödar till tunntarmen (uCP_{16}) består av mikrobprotein och foderprotein som inte bryts ner i våmmen. Därför borde mycket uCP_{16} innebära lägre ammoniak-N-halter (Grosse Brinkhaus m.fl. 2017). Orsaken till detta är att ifall halten råprotein som inte bryts ner i våmmen är hög, borde litet råprotein bli till ammoniak, och om halten mikrobprotein är hög, borde mycket ammoniak åtgå för bildandet av mikrobproteinet (Grosse Brinkhaus m.fl. 2017). I fall en hög andel uCP_{16} främst kommer sig av hög halt mikrobprotein, kan det dock ändå medföra höga halter av ammoniak-N trots mycken mikrobiell proteinsyntes, om foderstatens råproteinhalt är hög (Grosse Brinkhaus m.fl. 2017). Detta torde vara fallet för en del av foderstaterna i denna studie.

År 2015 hade ärt-havren och vallen lika hög råproteinhalt, och effekten på andelen uCP_{16} , av en ökning i foderstatens andel ärt-havre 2015, var kvadratisk. Detta visade att halten av uCP_{16} i medeltal var som högst när foderstaterna innehöll både ärt-havre 2015 och vall. Även ammoniak-N-halten påverkades kvadratisk, så att den var som lägst när foderstaterna innehöll både ärt-havre 2015 och vall, vilket överensstämmer med Grosse Brinkhaus m.fl.:s (2017) egentliga resonemang. Orsaken till detta torde vara att andelen mikrobprotein var högre när foderstaterna innehöll både ärt-havre 2015 och vall. I det fallet gynnades antagligen mikrobtiltväxten av den mycket nedbrytbara stärkelsen (Mustafa m.fl. 2000) och högre stärkelsehalten i ärt-havre 2015, tillsammans med snabbt nedbrytbart protein från vallen. Även fodrets smältbarhet och därmed mikrobernas tillgång till energi, har stor inverkan på mikrobtiltväxten. Westreicher-

Kristen m.fl. (2017) observerade att halten uCP var som högst när de undersökta foderstaterna innehöll ungefär 150 g/kg ts rödklöversilage och 600 g/kg ts majsensilage, och antog att det berodde på ökad mikrobtiltväxt på grund av synkroniseringen mellan snabbt fermenterbara kolhydrater från majsensilage och relativt mycket ammoniak från rödklövern.

Skillnaden mellan år 2015 och 2016 syntes i att andelen uCP₁₆ var högre för år 2015 än år 2016, delvis eftersom ärt-havren från år 2015 innehöll större andel ärt och därmed mer råprotein än ärt-havren från år 2016. Dessutom var NDF-smältbarheten klart högre för år 2015 än år 2016, när grovfodret innehöll ärt-havre och foderstaten var utan rapsmjöl. Detta kan ha påverkat mikrobernas energitillgång, och därmed andelen uCP₁₆. För år 2016 var ärt-havrens råproteinhalt lägre än vallens, vilket innebar att uCP₁₆ sjönk när vallen byttes ut mot ärt-havre 2016. Råproteinhalten för foderstaterna med endast ärt-havre 2016 som grovfoder, var 114-143 g/kg ts (olika rapsmjölshalter). De lägsta råproteinhalten kan ha begränsat mikrobernas tillgång till kväve, vilket minskade andelen uCP₁₆.

Andelen uCP₁₆ påverkades klart av foderstaternas andel rapsmjöl. Detta på grund av att rapsmjölet innehöll mer råprotein än kornet det ersatte, och att en del av rapsmjölets protein undvek våmnedbrytning (Bach m.fl. 2008), vilket antagligen hade en ökande effekt på andelen uCP₁₆. Dessutom förbättrades NDF-smältbarheten för vissa foderstater år 2016, av att andelen rapsmjöl ökade, vilket kunde ha medfört mer energi för våmmikroberna och därmed större andel uCP₁₆. Hur rapsmjölstillsatsen inverkade på uCP₁₆ påverkades också av foderstaternas andel ärt-havre 2015.

Estimering av uCP *in vitro* har gjorts med delvis olika metoder och passagehastigheter i våmmen för olika studier (Böttger och Sudekum 2017, Westreicher-Kristen m.fl. 2017). Därför kan det vara svårt att jämföra uCP₁₆-värdena från denna studie med andra. Vaga m.fl. (2017) använde sig av samma metod som i denna studie, och uCP₁₆-värdena var likartade. Metoden har dock sina begränsningar, eftersom det är ett stängt system som inte beaktar effekten av kontinuerligt våmflöde och introduktion av nya kolhydrater till våmmen samt hur det påverkar mikrobpopulationen (Edmunds m.fl. 2012).

6.5 Flyktiga fettsyror

De molära andelarna av de uppmätta flyktiga fettsyror, förutom ättiksyra, var inom ramen för våmmens referensvärden (McSweeney och Mackie 2012). Enligt McSweeney och Mackie (2012) varierar den molära andelen ättiksyra mellan 60 och 90 mmol/l, vilket är lite högre än värdena för över hälften av foderstaterna i denna studie.

Den totala produktionen av flyktiga fettsyror i våmmen påverkades inte årsvis av de olika foderstaterna. Inte heller Pursiainen och Tuori (2006) observerade någon skillnad i total produktion av flyktiga fettsyror för foderstater med olika andel ärt-kornhelsädesensilage. Den totala halten av flyktiga fettsyror var ändå klart högre för foderstaten med endast ärt-havre 2015 som grovfoder och inget rapsmjöl, jämfört med motsvarande foderstat med ärt-havre 2016. För denna foderstat var även NDF-smältbarheten klart högre 2015 än 2016, vilket ledde till större produktion av flyktiga fettsyror. En annan orsak kunde vara att stärkelsehalten och därmed tillgängligheten till lätt fermenterbara kolhydrater i foderstaten var högre för ärt-havre 2015 än ärt-havre 2016. Enligt Rodrigues (2016) leder lätt fermenterbara kolhydrater till ökad produktionen av flyktiga fettsyror. Skillnaden märktes främst i denna foderstat, då den inte innehöll något rapsmjöl eller vall, vilka annars delvis kunde dölja skillnaden. Även Adesogan m.fl. (2004) observerade att den totala produktionen av flyktiga fettsyror i våmmen varierade för helsädesensilage med olika ärtsorter eller vall, troligen på grund av att stärkelseinnehållet var olika.

Allmänt brukar andelen propionsyra öka när tillgängligheten till lätt fermenterbara kolhydrater i foderstaten ökar (Rodrigues 2016). I detta fall minskade dock den molära andelen propionsyra när vallen ersattes med ärt-havre, trots att ärt-havren hade högre stärkelsehalt än vallen. Detta kan endera bero på att ärt-havrens stärkelse inte nedbröts lätt eller att vallen ändå innehöll mer lätt fermenterbara kolhydrater, till exempel sockerarter, som inte analyserades i denna studie. Även Adesogan m.fl. (2004) observerade lägre molär andel propionsyra när ärt-vetehelsädesensilage ersatte vall, och Dewhurst m.fl. (2003a) observerade lägre andel propionsyra för baljväxtensilage än vallensilage. Pursiainen och Tuori (2006) fann däremot en kubisk ökning i propionsyrhalten när ärt-kornhelsädesensilage ersatte vallensilage. Orsaken till skillnaderna i molär andel propion- och ättiksyra mellan studierna kunde vara ensilagets jäsning och kraftfodrets andel i foderstaten (Pursiainen och Tuori 2006).

Ju mer ärt-havre foderstaterna innehöll desto större var den molära andelen ättiksyra, smörsyra och kapronsyra, trots att stärkelsehalten då var högre. För år 2016 var ökningen i molär andel ättiksyra och smörsyra dessutom varierande beroende på rapsmjölsnivån. Enligt Owens och Basalan (2016) leder fodrets hemicellulosa till att särskilt den molära andelen ättiksyra stiger. NDF-halten för ärt-havre 2015 var dock klart lägre än för vallen, medan den för ärt-havre 2016 var ungefär lika som för vallen. Koncentrationen av hemicellulosa (som inte analyserades i denna studie) kan ändå ha varit högre för ärt-havren än vallen, vilket kunde förklara de molära ättiksyrahalterna. Även Adesogan m.fl. (2004) observerade större molär andel ättiksyra för ärt-vetehelsädesensilage än vall. Pursiainen och Tuori (2006) fann dock en kubisk minskning i den molära andelen ättiksyra, när foderstaternas andel ärt-kornhelsädesensilage ökade.

Ju högre foderstaternas andel rapsmjöl var, desto högre var den molära halten av ättiksyra och isovaleriansyra. Den molära andelen smörsyra minskade när andelen rapsmjöl ökade, vilket även Kokkonen m.fl. (2000) observerade. När foderstatens andel rapsmjöl ökade, minskade den molära andelen propionsyra för år 2016, medan motsvarande sänkning år 2015 endast var numerisk. När rapsmjölshalten ökade, minskade den molära andelen kapronsyra dock endast år 2015.

6.6 Metanproduktion

Tvärtemot tidigare studier med baljväxtgrovfoder (Phelan m.fl. 2015) ökade metanproduktionen år 2015 när foderstaternas andel ärt-havre ökade. I de studier där foderintaget har varit lägre eller liknande för baljväxtgrovfoder än vallfoder, har metanproduktionen per kg torrsubstansintag däremot varit lika eller till och med högre för baljväxter (Phelan m.fl. 2015). De enda skillnaderna i sammansättning mellan ärt-havre 2015 och vallen, var att ärt-havren innehöll betydligt mer stärkelse och mindre NDF än vallen. Stärkelse har dock visat sig ha en minskande effekt på metanproduktionen (Boadi m.fl. 2004), vilket alltså inte var fallet denna gång. För år 2016 observerades inte någon påverkan av ärt-havrens andel i foderstaterna på metanproduktionen, trots att även ärt-havre 2016 hade högre stärkelsehalt än vallen. NDF-halten i ärt-havre 2016 och vallen var däremot ganska liknande, bägge klart högre än NDF-halten för ärt-havre 2015, eftersom ärt-havre 2015 innehöll förhållandevis litet

havre och mycket ärt. Detta visar på att grovfodrets NDF-halt i denna studie hade ett samband med metanproduktionen, genom att de foderstater där grovfodrets NDF-koncentration var lägre och därmed halten av intracellulära ämnen högre, hade högre metanproduktion. Källan till NDF var också olika för de olika ärt-havregrönfodren, mest ärt år 2015 och mest havre år 2016.

För år 2015 påverkades metanproduktionen av foderstaternas andel rapsmjöl. När rapsmjöl ersatte korn minskade metanproduktionen. Därmed minskade också foderstaternas stärkelsehalt, medan halten av råprotein och NDF ökade. Tvärtemot tidigare resultat (Boadi m.fl. 2004) verkar det också gällande kraftfodret i denna studie, vara NDF-halten och inte stärkelsehalten som påverkar metanproduktionen. För år 2016 påverkades inte metanproduktionen av rapsmjölsnivån, men metanproduktionen var överlag på en lägre nivå än år 2015, vilket kan vara en orsak till att rapsmjölet inte medförde någon ytterligare sänkning.

Enligt Johnson och Johnson (1995) finns det två huvudsakliga mekanismer som orsakar variation i metanproduktionen. Den första är mängden foderkolhydrater som jäsas i våmmen. Den andra mekanismen reglerar tillgången till tillgängligt väte och därmed metanproduktionen, via förhållandet av producerade flyktiga fettsyror. Ättiksyra och smörsyra resulterar i metanproduktion, medan propionsyra fungerar som en konkurrerande rutt för väteanvändningen i våmmen, vilket minskar på metanproduktionen (Boadi m.fl. 2004). Detta överensstämmer väl med att när andelen ärt-havre 2015 ökade i foderstaten, minskade den molära andelen propionsyra medan den molära andelen ättiksyra och smörsyra ökade, vilket gjorde att även metanproduktionen ökade. För ärt-havre 2016 betedde sig de molära förhållandena av flyktiga fettsyror på samma sätt, medan metanproduktionen ändå inte statistiskt signifikant förändrades. Detta tyder på att kolhydratsammansättningen från de olika ärt-havregrönfodren var olika eller jäste på olika sätt i inkubationen.

Den högre passagehastigheten genom våmmen för baljväxter jämfört med vall, begränsar möjligheten för metanogena arkeoner att kolonisera fodersubstraten, vilket leder till en minskning i metanproduktion (Dewhurst m.fl. 2009). Passagehastigheten uppmärksammas inte *in vitro*, vilket är en orsak till att resultaten från *in vitro*-studier även måste bekräftas *in vivo*. Jämfört med andra studier om metanproduktion *in vitro* (Zhong m.fl. 2016), var värdena från denna studie på liknande nivå.

7 SLUTSATS

De två undersökta ärt-havregroönfodren var olika till sin sammansättning. Ärt-havre 2015 hade högre ärthalt, medan ärt-havre 2016 hade högre andel havre. Därmed var råproteinhalten högre för ärt-havre 2015, vilket ledde till att kvävetmetabolin påverkades positivt. Sett till fodervärdet bör det alltså eftersträvas hög ärthalt i ärt-havrehelsädesensilage. Metanproduktionen var däremot lägre för ärt-havre 2016 än för ärt-havre 2015. Baljväxters metanproduktion har dock påverkats särskilt av passagehastigheten genom våmmen, vilket inte beaktades *in vitro*.

När ärt-havre ersatte vall sjönk NDF-smältbarheten. I *in vivo*-situationer beror dock mjölkproduktionen förutom på smältbarheten, även på foderintaget, vilket inte dessa *in vitro*-resultat beaktade. Ärt-havre 2015 och vall tillsammans ledde till högst andel uCP₁₆, vilket är viktigt för högproducerande mjölkkor. Åtminstone en liten rapsmjölstillsats kan vara nödvändig, eftersom rapsmjöl ledde till större andel uCP₁₆. Även foderstatens råproteinhalt kan höjas med hjälp av rapsmjölstillsats, vilket kan behövas om ärt-havre 2016 med låg ärthalt används. De olika foderstaterna lämpar sig väl för mjölkkor, beroende på vilka faktorer man fokuserar på. Innan dessa foderstater kan tillämpas i praktiken, borde de dock ännu undersökas *in vivo*.

8 TACK

Jag vill tacka för att jag har fått möjlighet att skriva min pro gradu-avhandling inom projektet ”Rätt mängd stallgödsel optimerar odling av baljväxtgroönfoder i norra Sverige”, som finansieras av Regional Jordbruksforskning för norra Sverige (RJN). Särskilt vill jag tacka mina handledare, doktorand Miriam Larsson och universitetslektor Seija Jaakkola, som har hjälpt mig igenom hela processen, både med det praktiska arbetet och med skrivandet. Tack för alla kommentarer och goda råd! Tack till docent Cecilia Palmberg för kommentarerna i slutskedet. Dessutom vill jag tacka alla andra som hjälpte mig under min vistelse i Sverige, särskilt alla vid institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap. Tack även till Itikka osuuskunta för stipendiet.

Jag vill ännu tacka mina vänner och min familj som har fått stå ut med mitt skrivande under det senaste året. Tack mamma för korrekturläsningen och pappa för de goda råden. Slutligen tack till Gud för att du tog mig igenom detta!

KÄLLOR

- Adesogan, A. T., Salawu, M. B. & Deaville, E. R. 2002. The effect on voluntary feed intake, *in vivo* digestibility and nitrogen balance in sheep of feeding grass silage or pea-wheat intercrops differing in pea to wheat ratio and maturity. *Animal Feed Science and Technology* 96: 161-173.
- Adesogan, A. T., Salawu, M. B., Williams, S. P., Fisher, W. J. & Dewhurst, R. J. 2004. Reducing concentrate supplementation in dairy cow diets while maintaining milk production with pea-wheat intercrops. *Journal of Dairy Science* 87: 3398-3406.
- Anil, L., Park, J., Phipps, R. H. & Miller, F. A. 1998. Temperate intercropping of cereals for forage: a review of the potential for growth and utilization with particular reference to the UK. *Grass and Forage Science* 53: 301-317.
- ANKOM Technology 2017. Neutral Detergent Fiber in Feeds - Filter Bag Technique (for A200 and A200I). https://www.ankom.com/sites/default/files/document-files/Method_6_NDF_A200.pdf. Macedon, NY, USA: Ankom Technology. Publicerad 2017, refererad 10.5.2017.
- Bach, A., Ruiz Moreno, M., Thrune, M. & Stern, M. D. 2008. Evaluation of the fermentation dynamics of soluble crude protein from three protein sources in continuous culture fermenters. *Journal of Animal Science* 86: 1364-1371.
- Bayat, A. R., Rinne, M., Kuoppala, K., Ahvenjärvi, S., Vanhatalo, A. & Huhtanen, P. 2010. Ruminant large and small particle kinetics in dairy cows fed red clover and grass silages harvested at two stages of growth. *Animal Feed Science and Technology* 155: 86-98.
- Boadi, D., Benchaar, C., Chiquette, J. & Massé, D. 2004. Mitigation strategies to reduce enteric methane emissions from dairy cows: Update review. *Canadian Journal of Animal Science* 84: 319-335.
- Böttger, C., Südekum, K. -H. 2017. European distillers dried grains with solubles (DDGS): Chemical composition and *in vitro* evaluation of feeding value for ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 224: 66-77.
- Carr, P. M., Horsley, R. D. & Poland, W. W. 2004. Barley, oat, and cereal-pea mixtures as dryland forages in the northern great plains. *Agronomy Journal* 96: 677-684.

- Cone, J. W., van Gelder, A. H., Visscher, G. J. W. & Oudshoorn, L. 1996. Influence of rumen fluid and substrate concentration on fermentation kinetics measured with a fully automated time related gas production apparatus. *Animal Feed Science Technology* 61: 113-128.
- Dewhurst, R. J., Delaby, L., Moloney, A., Boland, T. & Lewis, E. 2009. Nutritive value of forage legumes used for grazing and silage. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* 48: 167-187.
- Dewhurst, R. J., Evans, R. T., Scollan, N. D., Moorby, J. M., Merry, R. J. & Wilkins, R. J. 2003a. Comparison of grass and legume silages for milk production. 2. *In vivo* and *in sacco* evaluations of rumen function. *Journal of Dairy Science* 86: 2612-2621.
- Dewhurst, R. J., Fisher, W. J., Tweed, J. K. S. & Wilkins, R. J. 2003b. Comparison of grass and legume silages for milk production. 1. Production responses with different levels of concentrate. *Journal of Dairy Science* 86: 2598-2611.
- Edmunds, B., Südekum, K. -H., Spiekers, H., Schuster, M. & Schwarz, F. J. 2012. Estimating utilisable crude protein at the duodenum, a precursor to metabolisable protein for ruminants, from forages using a modified gas test. *Animal Feed Science and Technology* 175: 106-113.
- Grosse Brinkhaus, A., Bee, G., Schwarm, A., Kreuzer, M., Dohme-Meier, F. & Zeitz, J. O. 2017. Rumen microbial protein synthesis and nitrogen efficiency as affected by tanniferous and non-tanniferous forage legumes incubated individually or together in Rumen Simulation Technique. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 98: 1712-1718.
- Han, K. J., Alison, M. W., Pitman, W. D. & McCormick, M. E. 2012. Contribution of field pea to winter forage production and nutritive value in the South-Central United States. *Crop Science* 53: 315-321.
- Hauggaard-Nielsen, H., Ambus, P. & Jensen, E. S. 2001. Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea-barley intercropping. *Field Crops Research* 70: 101-109.
- Huhtanen, P., Hetta, M. & Swensson, C. 2011. Evaluation of canola meal as a protein supplement for dairy cows: A review and a meta-analysis. *Canadian Journal of Animal Science* 91: 529-543.
- Huhtanen, P., Jaakkola, S. & Nousiainen, J. 2013. An overview of silage research in Finland: from ensiling innovation to advances in dairy cow feeding. *Agricultural and Food Science* 22: 35-56.

- Hvelplund, T. & Weisbjerg, M. R. 2000. *In Situ* Techniques for the Estimation of Protein Degradability and Postrumen Availability. I publikationen: Givens, D. I. (red.). Forage Evaluation in Ruminant Nutrition. ProQuest Ebook: CABI. s. 233-258.
- Johnson, K. A. & Johnson, D. E. 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 73: 2483-2492.
- Karlsson, L., Hetta, M., Udén, P. & Martinson, K. 2009. New methodology for estimating rumen protein degradation using the *in vitro* gas production technique. *Animal Feed Science and Technology* 153: 193-202.
- Kokkonen, T., Tuori, M. & Syrjälä-Qvist, L. 2000. Effect of silage dry matter content and rapeseed meal supplementation on dairy cows 2. Rumen fermentation and digesta passage rate. *Animal Feed Science and Technology* 84: 229-242.
- Lamminen, M., Halmemies-Beauchet-Filleau, A., Kokkonen, T., Simpura, I., Jaakkola, S. & Vanhatalo, A. 2017. Comparison of microalgae and rapeseed meal as supplementary protein in the grass silage based nutrition of dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 234: 295-311.
- Luke 2018. Rehutaulukot.
https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/Rehutaulukot/fodertabeller_svenska.
 Helsingfors, Finland: Naturresursinstitutet Luke. Refererad 23.1 2018.
- McSweeney, C. & Mackie, R. 2012. Micro-organisms and ruminant digestion: State of knowledge, trends and future prospects. I publikationen: Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. Background Study Paper No. 61. Rom, Italien: Food and Agriculture Organization of the United Nations. s. 1-62.
- Menke, K. H. & Steingass, H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development* 28: 7-55.
- Mustafa, A. F., Christensen, D. A. & McKinnon, J. J. 2000. Effects of pea, barley, and alfalfa silage on ruminal nutrient degradability and performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 83: 2859-2865.
- Mustafa, A. F. & Seguin, P. 2004. Chemical composition and *in vitro* digestibility of whole-crop pea and pea-cereal mixture silages grown in south-western Quebec. *Journal of Agronomy and Crop Science* 190: 416-421.
- Owens, F. N. & Basalan, M. 2016. Ruminant Fermentation. I verket: Millen, D. D., Arrigoni, M. D. B. & Pacheco, R. D. L. (red.). Rumenology. Schweiz: Springer International Publishing. s. 63-102.

- Phelan, P., Moloney, A. P., McGeough, E. J., Humphreys, J., Bertilsson, J., O’Riordan, E. G. & O’Kiely, P. 2015. Forage legumes for grazing and conserving in ruminant production systems. *Critical Reviews in Plant Sciences* 34: 281-326.
- Pursiainen, P. & Tuori, M. 2006. Replacing grass silage with pea-barley intercrop silage in the feeding of the dairy cow. *Agricultural and Food Science* 15: 235-251.
- Ramin, M. & Huhtanen, P. 2012. Development of an *in vitro* method for determination of methane production kinetics using a fully automated *in vitro* gas system—A modelling approach. *Animal Feed Science and Technology* 174: 190-200.
- Rodrigues, P. H. M. 2016. Control and Manipulation of Ruminal Fermentation. I verket: Millen, D. D., Arrigoni, M. D. B. & Pacheco, R. D. L. (red.). *Rumenology*. Schweiz: Springer International Publishing. s. 157-187.
- Rondahl, T., Bertilsson, J., Lindgren, E. & Martinsson, K. 2006. Effects of stage of maturity and conservation strategy on fermentation, feed intake and digestibility of whole-crop pea-oat silage used in dairy production. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science*, 56: 137-147.
- Rondahl, T., Bertilsson, J. & Martinsson, K. 2007. Mixing whole-crop pea-oat silage and grass-clover silage: positive effects on intake and milk production of dairy cows. *Grass and Forage Science* 62: 459-469.
- Salawu, M. B., Adesogan, A. T. & Dewhurst, R. J. 2002a. Forage intake, meal patterns, and milk production of lactating dairy cows fed grass silage or pea-wheat bi-crop silages. *Journal of Dairy Science* 85:3035-3044.
- Salawu, M. B., Adesogan, A. T., Fraser, M. D., Fyshan, R. & Jones, R. 2002b. Assessment of the nutritive value of whole crop peas and intercropped pea-wheat bi-crop forages harvested at different maturity stages for ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 96: 43-53.
- Salawu, M. B., Adesogan, A. T., Weston, C. N. & Williams, S. P. 2001. Dry matter yield and nutritive value of pea/wheat bi-crops differing in maturity at harvest, pea to wheat ratio and pea variety. *Animal Feed Science and Technology* 94: 77-87.
- Salo, M.-L. & Salmi, M. 1968. Determination of starch by the amyloglucosidase method. *The Journal of Scientific Agricultural Society of Finland* 40: 38–45.
- Strydhorst, S. M., King, J. R., Lopetinsky, K. J. & Harker, K. N. 2008. Forage potential of intercropping barley with faba bean, lupin, or field pea. *Agronomy Journal* 100: 182-190.

- Vaga, M., Hetta, M. & Huhtanen, P. 2017. Effects of heat treatment on protein feeds evaluated *in vitro* by the method of estimating utilisable crude protein at the duodenum. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 101: 1259-1272.
- Van Gelder, A. H., Hetta, M., Rodrigues, M. A. M., De Boever, J. L, Den Hartigh, H., Rymer, C., van Oostrum, M., van Kaathoven, R. & Cone, J. W. 2005. Ranking of *in vitro* fermentability of 20 feedstuffs with an automated gas production technique: Results of a ring test. *Animal Feed Science and Technology* 123-124: 243-253.
- Westreicher-Kristen, E., Blank, R., Schulz, F. & Susenbeth, A. 2017. Replacing maize silage with red clover silage in total mixed rations for dairy cows: *In vitro* ruminal fermentation characteristics and associative effects. *Animal Feed Science and Technology* 227: 131-141.
- Woolford, M. K. 1984. *The Silage Fermentation*. New York och Basel: Marcel Dekker, Inc. 350 s.
- Yang, J. Y., Seo, J., Kim, H. J., Seo, S. & Ha, J. K. 2010. Nutrient synchrony: Is it a suitable strategy to improve nitrogen utilization and animal performance?. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 23: 972-979.
- Zagorakis, K., Liamadis, D., Milis, C., Dots, V. & Dots, D. 2015. Nutrient digestibility and *in situ* degradability of alternatives to soybean meal protein sources for sheep. *Small Ruminant Research* 124: 38-44.
- Zhong, R., Fang, Y., Sun, H., Wang, M. & Zhou, D. 2016. Rumen methane output and fermentation characteristics of gramineous forage and leguminous forage at differing harvest dates determined using an *in vitro* gas production technique. *Journal of Integrative Agriculture* 15: 414-423.